



TITLE:

# 通勤・通学交通量分布の予測方法 に関する研究( Dissertation\_全文 )

AUTHOR(S):

河上, 省吾

---

CITATION:

河上, 省吾. 通勤・通学交通量分布の予測方法に関する研究. 京都大学,  
1969, 工学博士

ISSUE DATE:

1969-05-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k906>

RIGHT:

通勤・通学交通量分布の  
予測方法に関する研究

昭和44年3月

河上省吾

# 目 次

はしがき	1
第1章 序 論	1
§ 1 研究の目的	1
§ 2 本研究の交通計画に占める位置	4
§ 3 本研究の内容	6
参考文献	8
第2章 通勤・通学交通を考慮した土地利用計画	9
§ 1 概 説	9
§ 2 用途地域必要面積の算定	9
§ 3 用途地域配置の原則	13
§ 4 土地利用率決定モデル	16
§ 5 雇用施設および住宅の配置計画への適用	21
§ 6 結 語	37
参考文献	39
第3章 通勤・通学交通の発生・集中量の予測	40
§ 1 概 説	40
§ 2 予測方法	40
§ 3 都市の発生・集中交通量	44
§ 4 用途地域別発生・集中交通量	56
§ 5 結 語	62
参考文献	64
第4章 地区間交通量の予測	65
§ 1 概 説	65
§ 2 従来の予測モデルとその特徴	65
§ 3 モデル式の構造の比較	83
§ 4 予測モデルの提案	91
§ 5 モデルの適合度の検討	104

§ 6	結 語	1 24
	参考文献	1 28
第 5 章	輸送機関別および経路別交通量の予測	1 31
§ 1	概 説	1 31
§ 2	従来の輸送機関別および経路別分担率の推定法	1 31
§ 3	アンケート調査の概要	1 36
§ 4	輸送機関別分担率に影響する要因	1 38
§ 5	経路別分担率に影響する要因	1 42
§ 6	輸送機関別および経路別分担率の予測モデルの提案	1 49
§ 7	結 語	1 58
	参考文献	1 60
第 6 章	結 論	1 61
	付図、付表	1 79

## は し が き

近年における人口および産業の都市集中による急激な都市の膨張は、公共施設の不足に起因する交通問題をはじめとして、住宅および公害問題などのいわゆる都市問題をひき起した。

都市問題としての交通問題には、ラッシュ時の通勤・通学輸送の混雑、自動車交通の渋滞、交通事故および自動車の排気ガスや騒音による公害などがある。

ところで都市内の交通は、都市施設がその機能を発揮するために不可欠な手段であるので、上述の交通問題によってひき起こされる都市活動の効率低下はいちじるしく、市民が日常生活において受ける有形、無形の損失もきわめて大きいものがある。

このように交通問題が社会問題として認識されるようになったにもかかわらず、ここ数年来交通問題は年々その深刻の度を加え、解決への有効な手段はほとんど見当たらない現状である。

このような事態に到った原因としてはいくつか考えられるが、交通計画策定に際して、土地利用と交通施設の有機的関連性を考慮しなかったことが原因の一つであろう。

したがって、交通問題を解決するためには、単に交通施設の計画を改善するだけでなく、少なくとも土地利用と交通施設を一体としてとらえた交通体系を確立することが要求される。

しかしながら、都市内の総合的交通体系に関する研究においてはその方法論の多様性のゆえに、画期的な計画手法が確立されておらず、現在なお交通計画策定のための方法論が種々検討されており、著者の研究意図もこの方法論の確立にあるのである。

本研究では、都市交通計画を策定する上で重要な意味をもつ通勤・通学交通をとりあげ、交通計画と有機的関連をもつ土地利用計画の策定と通勤・通学輸送需要の予測方法について、基礎的な考察を行なった。対象とする交通目的を通勤・通学交通に限定したが、方法論の展開に際しては、なるべく普

遍性をもたせるように努めた。総合的都市交通体系の確立のためには、この他に多くの課題が残されており、今後の研究に待つべきものが少なくない。本研究が、都市交通計画策定法の確立のために少しでも寄与できれば幸いである。

本研究を行なうにあたり、懇篤なる御指導と御助言を賜った京都大学 米谷栄二教授、同 佐佐木 綱教授、名古屋大学 毛利正光教授に心から感謝の意を表すると共に、御鞭撻を賜った京都大学 石原藤次郎教授、名古屋大学 成岡昌夫教授に深く謝意を表する次第である。また統計資料の借用その他に御助力をいただいた京都、大阪、名古屋の各市役所の関係各位に対して心から感謝の意を表する。

昭和44年3月

河 上 省 吾

## 第1章 序 論

### § 1 研究の目的

交通とは人あるいは物の、ある目的をもった空間的移動であり、交通をその移動主体によって分類すると旅客交通と貨物交通に分けられる。交通の機能は、社会生活上の大きな障害である空間的距離を克服することにある。この空間的距離の障害を克服するために、貨物交通においては輸送費と所要時間を必要とし、旅客交通においては、これらに加えて疲労、不快感などといった肉体的苦痛および事故による生命の危険を伴う。

したがって、交通計画の一つの目的は、これらの交通に伴う費用、所要時間と肉体的および精神的負担を最小にすることにある<sup>1)</sup>。

では都市においてなぜ交通が必要となるのであろうか。

これは、都市機能を果たす諸施設が分化し、空間的に分散しているために、それらの施設が機能を発揮するためには、交通施設による相互連絡を必要とするからである。大都市になるほど、業務、商業、工業各施設や住宅などの都市施設は、機能分化が進んでいるので、単独では機能を発揮できず、通信および交通施設により有機的に結びつけられて、はじめてその機能を果たすことができるのである。

したがって、都市施設の配置計画を策定する際には、施設相互間はもちろんのこと、それらと交通施設の間ので能力の釣合がとれており、交通に伴う費用、所要時間と肉体的および精神的負担が小さくなるようにすることが大切である。

以上より都市の交通計画の本来の目的は、都市機能を効率的に発揮させることにあることがわかる。したがって、都市内の交通計画の策定に際しては都市施設そのものの相互配置とその間の交通施設の計画を一体化し、全体的に見て最適な都市施設の配置計画および交通計画を同時に策定すべきである。

しかるに、従来の交通計画のほとんどにおいて都市施設の配置はあらかじめ与えられたものと考えており、配置計画を策定する場合も、交通計画を含

めて総合的に都市施設の最適配置を求めた例は少ない。

すなわち、交通計画は、交通施設のみを扱い、交通施設の面から交通需要の発生源である都市施設の配置を制御することを重視していなかったようである。都市内の交通量が少なかった頃はこれでよかったが、大都市への人口および各種都市機能の集中傾向の激化に伴ない、交通量の急速な増加が見られるようになったここ数年来は、わが国の大都市の通勤、通学輸送の混雑と路面交通の渋滞の慢性化が示すように、このような考え方の交通対策のほとんどが失敗に終わった。

そのため、最近になつて交通問題の根本的な解決は、輸送需要の発生源を制御することなしには得られないと考えられるようになってきた。これは、内外における交通の実態調査の結果が、都市を構成する各要素と発生交通量との間にきわめて密接な関連があり、また交通機関の市街地形成に及ぼす影響がきわめて大きいことを示したことにによる。すなわち、交通機関は市街地形成を促進し、交通発生源である都市施設をその沿線に誘致して交通需要を増加させる作用があるため、大都市の交通施設の多くは時間の経過とともに需要がその容量を超過する運命にあることがわかった。そこで、道路上の自動車交通および大量輸送機関の混雑などの交通問題を根本的に解決するためには、交通需要の発生源自体を制限する必要があると考えられるようになってきた<sup>2)</sup>。これが土地利用計画の必要性なのである。

つぎにこのような状況をわが国の実例で示す<sup>3)</sup>。

わが国において、昭和30年代の高度経済成長下で急激な都市化が進み、30年に人口10万人以上の都市に居住する都市人口は全国人口の34.9%であったのが、40年には46.5%に増加した。人口の都市集中に伴い、都市における旅客輸送需要は人口よりさらに高い集中度を示し、昭和40年度の首都交通圏（東京駅を中心とする半径50km圏）の人口は全国人口の18.8%、阪神交通圏（大阪駅を中心とする半径50km圏）のそれは11.5%であるのに、両圏内の各種輸送機関の旅客輸送量はそれぞれ全国輸送量の38%および20%である。貨物輸送においても同様の集中傾向が見られ、42年度の両圏の貨物輸送量は、それぞれ全国の20.7%（首都）および15.2%（阪神）を占めている。このような輸送需要の急激な増加に対して施設の整備が追従できず、



現在の大都市における大量輸送機関の混雑、路面交通の渋滞といった交通問題が発生した。

旅客交通のうちでは、その大半を占め、しかも朝夕の短時間に集中する通勤・通学輸送の混雑の問題がとくに深刻である。この背景には、地価の高騰、用地取得難から住宅が郊外に立地し、住居と就業、就学地とを結ぶ通勤・通学輸送需要がとくに急激に膨張していることが指摘される。また都市内旅客輸送の流れは、都心部または副都心部に対して求心的であるものが非常に多いため、都心、副都心およびその周辺部の混雑が特に激しい。

一方、自動車の陸上輸送に占める地位も年々高まっており、人の輸送では41年度で全体の50.0%、輸送人キロで34.9%を占めている。そして都市の自動車保有台数は自家用車の急激な普及により増加の一途をたどり、40年の首都圏および阪神圏の保有台数はそれぞれ35年の2.4倍および2.5倍となっている。このため大都市では道路交通の混雑が激化し、バス、路面電車をはじめとする路面交通の機能をマヒ状態におとしいている。こうした路面交通の渋滞を解消するために、道路整備5ヶ年計画など道路整備が進められているが、都心部ではすでに道路拡張に限度があるため、各種輸送機関の適正な分担率の決定により輸送需要を処理する以外に解決法はないようである。さらに自動車交通の混雑は、交通事故および騒音、排気ガスなどのいわゆる交通公害の増大をもたらした。

以上より、わが国の大都市における交通問題は、ラッシュ時の大量輸送機関の混雑と、路面交通の渋滞に集約されていることがわかる。

去る昭和43年10月に発表された43年度の運輸白書は、これらの交通問題を解決する方法として次のような提案をしている。

交通問題を根本的に解決するには、輸送需要がふえる原因である都市の構造を改革する必要がある。都心部には中枢管理機能だけを置き、生産や教育の機能は郊外へ、流通センターなど物的流通機能は周辺部へとそれぞれ分散させ、各地域間を高速の鉄道、道路網で有機的に結びつけるのが望ましい。このために常に人口集中に先行する投資によって交通網の整備を続け、望ましい都市構造に誘導していく必要がある<sup>4)</sup>。

この提案の主旨は、すでにわが国の都市交通審議会の昭和31年の第1次

答申ならびに 35 年の基本計画の改訂の際に策定された輸送力の増強計画に見ることができ、特に目新しいものではない<sup>5)</sup>。

しかし、前述したように従来のがが国の都市における交通計画で、この点を積極的に考慮したものは少ない。この最大の原因は、都市施設と発生交通量の関係を定性的にはとらえることができて、定量的に詳細にとらえることが困難であったからであろう。

最近、諸外国はもちろん、わが国においても都市施設と発生交通量の関係に関する調査研究が意欲的に行なわれ、これらの成果が都市交通計画に採り入れられつつある。このようなとき、都市施設（用途地域）の最適配置を考慮に入れた交通計画の方法論の検討を行なうのは意義あることと考える。

このような認識の下に、本研究では、都市内の旅客交通の大半を占め、しかも朝夕の短時間に集中して輸送施設の必要容量を規定する通勤、通学交通<sup>6)</sup>を採り上げ、交通計画策定において不可欠の輸送需要の予測方法に関する基礎的な研究を行なう。ここでは、次の 3 課題を研究の目的とする。

1. 地区間交通量を考慮した土地利用率決定モデルの開発
2. 地区間通勤、通学交通量の予測モデルの比較検討と新しいモデルの開発
3. 通勤、通学交通量の輸送機関別および経路別分布の分析と予測モデルの開発

これらの研究によって、よりよい都市交通計画の策定方法を確立するための指針を与えようとするものである。

## § 2 本研究の交通計画に占める位置

本研究では、都市内旅客輸送計画における交通量予測の方法論について、通勤、通学交通を例にとって検討するが、ここでは旅客輸送計画の方法を概説し、そのうちで本研究で扱う交通量予測の占める位置を明らかにしておこう。従来多くの都市で交通計画が策定され、種々の方法が試みられたが、未だ完全な旅客輸送計画の策定方法は確立されていない。

しかし、それぞれの方法を総合すると、大綱においてはほぼ統一的な方法を見出すことができ、このようにして交通計画の方法を確立しようとする試みも二、三行なわれている<sup>7)、8)</sup>。

これらの研究を総合すると、都市内旅客輸送計画のシステム・チャートは次のようにまとめることができる<sup>9)</sup>、<sup>10)</sup>

図 1-2-1 交通計画のシステム・チャート

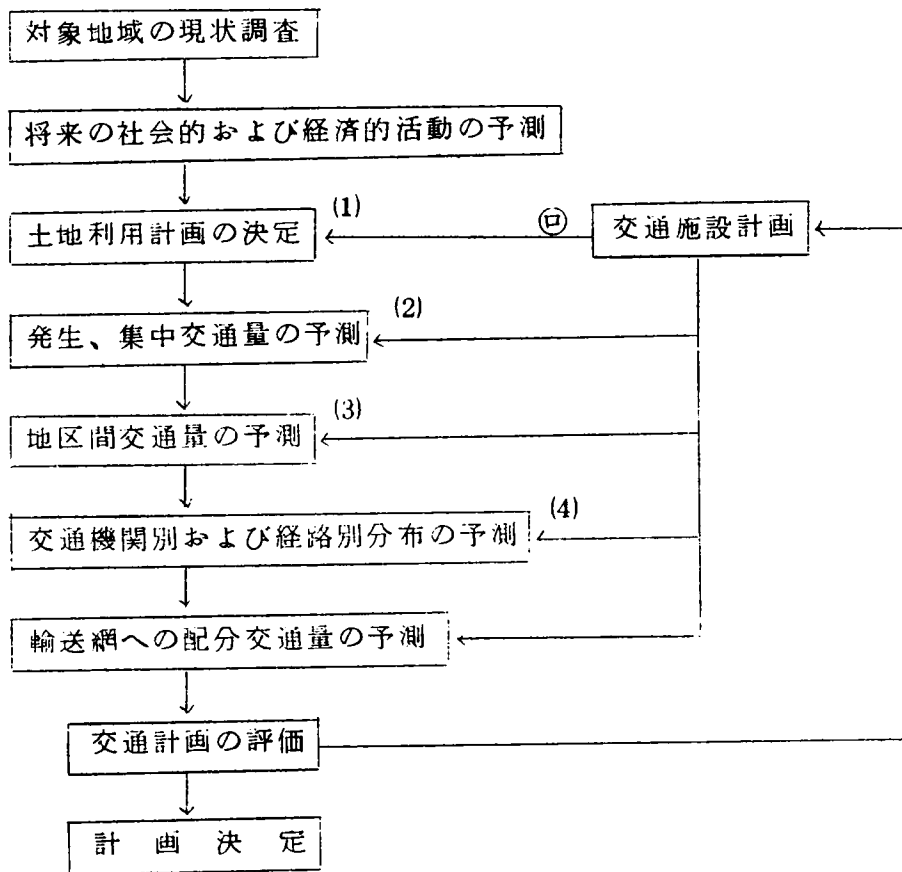


図 1-2-1 のシステム・チャートにおいて、交通計画を評価し、よりよいものに修正する方法には、輸送施設の配置を変更するだけの方法④と、土地利用計画を修正する方法①の二つがある。④では土地利用計画が適切でなければ全体的に見て最適な交通計画を得ることができないという欠点があるので、ここでは①の方法を採用する。

本研究では、図 1 - 2 - 1 の(1)、(2)、(3)、(4)の各項目について、その方法論を検討する。項目(1)では、交通計画の評価をどのようにするかということが問題になるが、評価の方法について一試案を提案し、それに基づいて理論を構成する。またシステム・チャートに見るように、交通量を予測するためには、輸送施設の配置を仮定する必要があるが、予測の方法論の検討はこれに触れなくても可能なので、輸送施設の配置に関する問題については考えない。また、交通量の予測のうちには配分交通量の予測があるが、これには触れない。

### § 3 本研究の内容

本研究の内容を概説すると次のようである。

本研究では、都市機能（土地利用）の最適配置を考慮した都市交通計画の策定法の一環として、通勤・通学輸送需要の予測方法について検討する。

そのため第2章においては、まず地区間の交通量を考慮した都市の土地利用率決定モデルを提案する。

このモデルは、快適な都市環境を造ることを前提として都市施設の建設費および維持費を最小にする土地利用計画が最適であると考え、このような土地利用計画をL・P.の手法を利用して求めるものである。つぎにこれを簡略化した通勤交通から見た職場と住宅の最適配置計画を求めるための方法論を述べ、これにより京都市の住宅と職場の最適配置を求めた例を示す。

第3章では、ある地域における通勤・通学交通の発生・集中量を予測する方法について検討する。まず都市全体の発生・集中交通量を求めるための人口を単位とする発生・集中原単位の分析例と、通勤・通学者の発生・集中機構の分析例を示す。原単位については時間の経過に対する安定性をも検討する。つぎに用途地域別の発生・集中交通量を予測するための資料として、京都市と名古屋市の資料の分析から得られた用途地域別発生・集中原単位を示す。この発生・集中原単位はそれぞれ人口および従業者と学生の和を単位としたものである。

第4章では、対象地域をいくつかの地区に分割したときの地区間通勤交通量を予測する方法について考察する。地区間（OD）交通量の予測方法には、

まず経済指標などから発生・集中交通量を予測してそれに基づいて地区間交通量を推定する4段階推定法と、経済指標から直接地区間交通量を推定する3段階推定法の二つがある。ここでは現在多く用いられている前者について検討する。まずこれまでに開発されたOD交通量の予測モデルの概略と利害得失について述べ、つぎに地区間の交通上の結びつきの強さを表わす地域間結合度を定義し、これを用いてモデル式の構造を比較検討する。さらに著者の考案した予測モデルを提案し、これと従来モデルのいくつかについて、昭和35年と40年の京都、名古屋、大阪の各都市の通勤および通勤・通学交通の観測資料を用いてその予測精度を比較する。そしてこれらの考察の結果に基づいて予測モデルの構造の比較検討を行なう。

第5章では、2地点間の輸送需要がその間にあるいくつかの輸送機関および経路に分布する割合、すなわち輸送機関別および経路別分担率を推定する方法について考察する。

まず名古屋市の通勤、通学者に対して行なったアンケート調査を分析し、輸送機関別および経路別分担率に影響する要因を調べ、これらの要因を説明変数とする予測モデルを提案する。このとき、経路別分担率の予測モデルについては、モデルの具備すべき条件について検討し、これを満足するモデルを開発する。そしてこれをアンケート調査で得た資料に適用し、予測モデルとしての有用性を検討する。

## 参 考 文 献

- 1) 今野源八郎編：交通経済学、青林書院新社、 pp.1～2, 昭和42年5月。
- 2) 米谷栄二、加藤晃：都市交通と都市計画、技術書院、 pp.63～73, 昭和42年6月。
- 3) 運輸省：43年度運輸白書、昭和43年10月。
- 4) 前掲3)に同じ。
- 5) 岩井、加藤、柴田、八十島編：都市交通、都市問題講座4、有斐閣  
pp. 50～51, 昭和40年1月。
- 6) 角本良平：都市交通、有斐閣  
pp. 21～24, 昭和38年3月。
- 7) 新谷洋二、黒川 洸：都市交通計画の方法に関する考察、交通工学、  
Vol. 2, No. 1 pp. 3～12, 1967。
- 8) R. V. Martin, F. W. Memmott and A. J. Bone: Principles and  
Techniques of Predicting Future Demand for Urban  
Area Transportation, The M. I. T. Press, pp. 3～7, 1966。
- 9) オーバーガード著、佐々木綱訳：都市運輸計画における交通量推定、都市交通研究所、  
pp. 7～14, 昭和43年2月。
- 10) 前掲8)に同じ。
- 11) 柴田徳衛：現代都市論、東京大学出版会、 pp. 247～256, 昭和41年8月。
- 12) 米国都市交通委員会編、鈴木秀昭訳：都市の新しい運輸計画、鹿島出版会、  
昭和41年1月。

## 第2章 通勤・通学交通を考慮した土地利用計画

### § 1 概 説

交通計画の作成に際しては、まず土地利用計画を策定する必要がある。土地利用計画では、それにより都市施設の配置が決まるので、その利用者にとって最も効率のよい用途地域の配置を決めるべきである。ここで「最も効率がよい」というのは、「都市住民の生活を安全に、衛生的に、かつ快適ならしめ、同時に活動の便宜と能率の向上とを図ることにおいて、最適な」という意味である<sup>1)</sup>。

そこで本章では、都市内の用途地域の最適配置、すなわち住居、商業活動、工業活動などの最適配置の決定方法について考察する。

ここで述べる土地利用計画モデルは次のような構成をもつものである。

まず、対象都市の将来の都市活動の規模を推定し、これらの活動を行なうための用途別必要面積を算定する。つぎに、各用途地域の配置の基本原則により、都市の未利用地の利用可能用途を決め、用途別利用可能面積を推定する。そして、L. P. の手法を利用した土地利用率決定モデルにより、都市施設の建設費および維持費を最小にする土地利用計画を求めることを最終目的とする。

さらに、ここではこの考え方を雇用施設と住宅の配置問題に適用し、通勤交通から見た土地利用計画モデルを提案する。最後にこのモデルを京都市の雇用施設と住宅の配置計画に適用した例を示す。

### § 2 用途地域必要面積の算定 <sup>2), 3), 4)</sup>

都市内の土地利用をその利用目的で分類すると、工業用地、商業用地、住宅用地、公共施設（学校、病院、官公庁など）用地、公園、緑地、道路用地などに分けられる。用途地域配置計画に際しては、対象とする都市の社会、経済的諸活動を維持するために必要な各用途別必要面積を推定する必要がある。ここでは、各用途別必要面積の推定方法について述べる。なお本節 1 ～

## 2-2

3 は国土計画協会編、地域計画要覧 pp.123～126 から引用させていただいたこととお断わりしておく。

### 1. 工業用地の推計

これには、次の二つの方法がある。

#### (1) 工業の土地生産性による推定

将来の工業生産額を業種ごとの単位面積当りの生産性で除して、必要工業用地面積を求める。すなわち、

$$\text{必要工業用地面積} = \sum \left( \text{業種別年間出荷額} \times \frac{1}{\text{単位面積当り業種別出荷額}} \right)$$

単位面積当りの年間出荷額は、5～10万円／3.3 $m^2$ で、重化学工業が高い。表2-2-1参照。

#### (2) 工業従業人口による推定

工業従業人口より、業種別に従業人口1人当りの工業用地面積を用いて必要面積を推計する。

$$\text{必要工業用地面積} = \sum \left( \text{業種別従業人口} \times \text{業種別1人当り用地面積} \right)$$

1人当りの用地面積は、一般に重工業用地100～200 $m^2$ /人、軽工業用地30～100 $m^2$ /人である。

(1)、(2)による推計結果は、必ずしも一致しないが、これらと既存用地の再開発および技術革新などの要素を考慮して、必要面積を推定する。推計所要面積より既存の工業用地を除けば、開発面積を知ることができる。

### 2. 商業用地の推計

これには次の二つがある。

#### (1) 類似都市の実例による推計

商業用地の規模は、都市の性格により相当の相違がある。また、商業地には地区的商業地（住区の商業地）と都心的商業地とがある。両者を含めた一般的な商業地の規模の例は、表2-2-2のようであるから、これを参考にして推計することができる。



表 2 - 2 - 1 業種別工場敷地面積 (S33、36、37、全国平均)

	製造品出荷額1億円当り 敷地面積 (単位100 m <sup>2</sup> )			敷地面積100 <sup>2</sup> m <sup>2</sup> 当り 従業員数 (単位 人)		
	S. 33	S. 36	S. 37	S. 33	S. 36	S. 37
総 数	(58.52) 59.34		(36.30) 35.94	(84.23) 83.25		(94.75) 93.75
18 食 料 品	35.89	23.62	21.48	75.67	114.07	119.55
20 織 維 工 業	65.79	49.29	43.83	67.68	105.80	103.26
21 衣服その他	33.46	18.65	16.11	340.34	409.21	441.83
22 木材木製品	108.87	70.19	53.01	70.09	82.36	97.18
23 家具装備品	59.98	37.23	27.51	187.85	193.49	194.92
24 パルプ紙加工品	75.72	52.91	50.35	55.41	58.96	60.19
25 出版印刷	8.46	8.22	5.05	807.47	624.07	927.97
26 化学工業	95.84	57.43	57.00	37.49	45.08	42.40
27 石油石炭製品	42.91	35.90	28.83	22.82	20.00	20.97
28 ゴム製品	32.31	23.11	21.86	210.60	218.23	227.41
29 皮革製品	47.39	30.95	22.41	121.86	168.97	206.59
30 窯業土石製品	103.96	65.14	83.11	68.45	79.74	57.39
31 鉄 鋼 業	69.43	33.96	41.47	55.49	61.98	53.92
32 非鉄金属	88.22	42.75	43.49	36.24	48.87	48.73
33 金属製品	51.99	30.14	37.94	134.61	171.06	126.38
34 機 械	56.22	36.75	31.42	121.90	121.59	130.86
35 電気機器	32.73	20.42	22.87	165.24	213.85	171.73
36 輸送機器	38.15	36.17	27.84	104.05	82.94	97.32
37 精密機器	27.99	38.86	18.42	323.03	174.18	324.87
38 武 器	355.63	302.15	194.61	22.27	21.36	35.25
39 その他	32.59	28.33	25.31	258.12	212.12	216.15
70 電気業	266.51		207.3	26.14		19.86
71 ガス業	873.05		23.09	38.71		35.91

参考文献2) P. 337 より引用

(注) 1. S 33 および S 37 は通産省編「工業用水統計」 S 36 は通産省編「工業用地統計」

2. 総数の上段 ( ) は 70 電気業、71 ガス業を除いて求めた数値である。

3. 敷地面積は、事業所で使用(賃借を含む)している敷地の全面積で生産設備等のある敷地と道路、堀等で明確に区分されている社宅、宿舍等は含まれない。

4. 従業員数は、常用労働者数と個人事業主および家族従業員数の合計。

表 2 - 2 - 2 商業地の規模

(中小都市)

都市分類	都市人口当り	市街地人口当り	摘 要
商業都市	10~20m/人	15~30m/人	① 中心的商業地と地区的商業地を含む
工業都市	4~10	5~15	② 中心的商業地は全商業地の大凡 1/2~
軽工業都市	8~12	10~15	2/3 を占める
住宅都市	2~ 5	5~ 8	③ 商業地中 60 ~ 70 %が純商業用地で
平 均	(10)	(15)	ある。

参考文献 2) P. 124 より引用

## (2) 商業従業人口による推計

将来の商業従業人口（事務的業務、サービス業従業者を含む）により次のようにして推計する。

$$\text{商業用地} = \sum \left[ \text{業種別従業人口} \times 1 \text{人当り床面積 (業務面積+付属面積)} \right. \\ \left. \times \frac{1}{\text{平均建築階数}} \times \frac{1}{\text{建ぺい率}} \right]$$

中小都市の実例では、1人当り床面積 20m<sup>2</sup>、平均建築階数 1.5 階、建ぺい率 55 %である。

## 3. 住宅用地の推計

まず、都市内の居住人口を予測する。予測された居住人口のための住宅用地は次のようにして求める。

## (1) 併用居住による収容人口の推定

住居地域以外の地域に収容可能な人口を次式によって推計する。

$$\text{併用居住人口} = \sum \left[ \text{商業用地面積} \times \text{商業用地人口密度} \right] + \sum \left[ \text{工業用地面積} \right. \\ \left. \times \text{工業用地人口密度} \right] + \sum \left[ \text{その他用地} \times \text{その他用地の人口密度} \right]$$

## (2) 住宅用地の推計

次式によって行なう。

$$\begin{aligned}\text{住宅用地面積} &= \text{既成住宅用地面積} + \text{開発住宅用地面積} \\ &= \text{既成住宅用地面積}\end{aligned}$$

$$+ \frac{\text{居住人口} - \text{併用居住人口} - \text{既成住宅用地面積} \times \text{人口密度}}{\text{開発住宅用地人口密度}}$$

わが国の中小都市の夜間人口密度の平均値（人/ha）は、商業地 200、工業地 30、軽工業地 80、住宅地 110、全市街地平均 100 である。

#### 4. 文教施設、厚生施設用地、官公庁用地の推計

学校、図書館、体育館、大病院、官公庁などのための用地は、居住人口 1 人当りの必要面積を実例などから決め、これにより推計する。

#### 5. 公共用地の推計

道路、公園、輸送機関のターミナル、その他公共用地は、市街地面積に対する公共用地率を定めて計算する。わが国既成市街地の公共用地率は、非常に低く 10 % 程度であるが、最少限 20 %、通常 30 %、最大 40 % が望ましいといわれている。公園の面積は居住人口 1 人当りの面積から推定することもできる。

### § 3 用途地域配置の原則 <sup>5)</sup>

市街地の土地利用には、用途別にそれぞれ望ましい立地条件があるが、市街地の総合的構成において考慮すべき事項は次の 7 項目にまとめることができる。以下の 7 項目および 1 ～ 5 は国土計画協会編、地域計画要覧 PR129 ～ 134 から引用させていただいたこととお断わりしておく。

- (1) 異種の施設を分離すること。
- (2) 同種の施設を集団化すること。
- (3) 個々の集団または集団群について機能構成上望まれる規模、密度、容積、公共用地率などを定めるほか、構造、形態などの大要を定めること。
- (4) 個々の集団または集団群相互間の望ましい位置的関係（配置構成）を検討すること。
- (5) 集団相互間の機能動線を的確にとらえ、市街地内幹線交通体系を確立すること。
- (6) (1) ～ (5) の過程において、常に自然的素材の活用、自然的土地利用との

調整、自然と人工構造物との調和を図ること。

- (7) 市街地の総合的構成を周辺農林地域を含めた全体的地域構成計画に適合したものとする。

つぎに用途別の望ましい立地条件について述べる。

#### 1. 工業用地

- (1) 交通、動力、用排水などに便利な平坦かつ低廉な土地に選定する。
- (2) 将来の産業計画に基づき、誘致業種およびその規模に対応した用地を確保する。
- (3) 市街地内に閉鎖的に取り込むことを避け、市街地周辺部において、将来の拡張に応じられるように配置する。
- (4) できるだけ適地に集団的に設け、小規模の散在を防ぐ。
- (5) 風向などを考慮し、公害が発生しない位置を選ぶ。
- (6) 集団化、専用化するもの、または保安上危険な工業などは、市街地から離れた特定の場所に配置する。
- (7) 労働環境、労働者の福祉厚生施設など、生産関連機能スペースの配置を考慮する。
- (8) 住宅地との間には、できるだけ緑地または準工業地などの緩衝地帯を設ける。

#### 2. 準工業用地

軽工業、下請中小工業のある地域が準工業地である。準工業地の計画に際して注意しなければならない事項は次のようなものである。

- (1) 軽工業を主とする地区に配置する。
- (2) 住宅と工場、商店と工場などの混成が止むを得ないと思われる位置に配置する。
- (3) 独立的軽工業は立地条件により、大工場の下請工場は親会社との関連を考慮して配置する。
- (4) 市街地周辺の主要道路沿線、鉄道沿線、小河川沿いなどに配置する。
- (5) 工業地と住宅地の中間に配し、緩衝地帯とする。

#### 3. 商業用地

商業地には、都心的商業地と地区的商業地がある。

- (1) 商業地は交通至便、土地平坦、昼間人口密度大なる地点に配置する。
- (2) 商業地はなるべく小団地に専用化させ、いたずらに拡大することを避ける。
- (3) 住宅地との相対的位置関係において、都心、副都心、地区中心などを構成させるように配置する。
- (4) 商業地の性格を商業業務、小売、娯楽、観光などに区分して計画する。
- (5) 商業地は都市構成に応じて集団的または路線的に配置する。
- (6) 小規模な小売店舗の点在する程度の地区は、特に商業地とする必要はない。
- (7) 沿道制限の望まれる主要幹線街路沿いは、商業化を避ける。
- (8) 路線的商業地は、道路の両側に配置する。
- (9) 駐車スペース、公園など空地率を高める。

#### 4. 住 宅 用 地

- (1) 閑静な高燥地で、急勾配の地形でなく、鉄軌道、工場などの公害のない場所を選定する。
- (2) 主要幹線道路、鉄軌道、河川などで分断されない人口8,000～10,000人の住宅区域を1近隣住区としてまとめ、単位住区またはその複合住区をもって住宅地区を構成する。
- (3) 住工・住商地域の混合を避ける。
- (4) 住宅地が商業地、工業地に囲まれて小面積で残ることを避ける。
- (5) 将来の拡張余地（方向）をあらかじめ用意する。
- (6) 区域をやや大きめに設定する。
- (7) 自然的素材（丘、林）を生かした配置と、形態的構成を検討する。
- (8) 1住区に1小学校、1近隣公園、2住区に1中学校を原則的に配置する。

#### 5. 文教施設、流通施設、厚生施設用地

これらは、それぞれ集団化せしめ、それぞれの適地条件を検討して特定施設集団区域を設定する。

#### § 4 土地利用率決定モデル<sup>6)</sup>

##### 1. 利用可能面積の調査

前節で述べた用途地域配置の基本原則を考慮しながら、都市内の未利用地を各用途地域の候補地として分類する。そして、都市内を行政区あるいは中学校区単位に分割し、地区ごとに用途別面積の現状と利用可能面積を次表のように整理する。

表 2 - 4 - 1

地区	現 状 (ha)	将来利用可能面積 (ha)	計
	工業 準工業 商業 住居 その他	工業 準工業 商業 住居 その他	
1			
2			
⋮			
⋮			
⋮			
n			
計			

この表で、商業、住居いずれでも利用できる土地 $Am^2$ がある場合は、商業+住居 = A というように表わしておく。

用途地域面積の現状と利用可能面積を加えたものが、与えられた都市活動を行なうための用途地域必要面積より小さいなら、必要面積の算定基礎となった都市活動を実現することはできない。この場合は、都市活動規模の予測を修正する必要がある。したがって、将来の都市活動規模の予測に際しては、土地利用の面から、その実現性を検討することも必要である。

##### 2. 用途地域配置の評価基準

適切な用途地域配置計画を策定するためには、用途地域の配置計画の評価基準を決め、その評価値が最大になる計画を採求する必要がある。計画の評価は、計画がその目的をどの程度達成しているかということを具現化したものでなければならない。用途地域配置計画の目的は、現在および将来にわた

って都市住民に快適でかつ都市活動を行なう上で効率的な生活環境を与えることである。

ここでは、用途地域配置の基本原則に従って、都市内用地の用途を決めることにより快適な生活環境を実現することとして、配置計画による都市活動の能率の向上、すなわち効率化について検討する。

用途地域計画は都市施設の配置計画と考えられるので、用途地域配置計画の評価基準として、都市施設を建設、維持するために要する経費を採用し、これが小さいほどよい計画であると考える。すなわち、一定の都市活動を行なうことを前提として、その経費が最小となる計画を求めようとするものである。

都市施設のための経費の内訳は、用途地域内の建築物および輸送施設などの設備費とこれら各施設の維持、運営費からなる。維持、運営費は、施設の維持、運営に要する経費であるが、輸送施設については、それによる輸送所要時間を考慮するために、これを利用する人および貨物の時間費用（時間価値×所要時間）を算定し、これに加えるものとする。このとき、これら経費のうちで用途地域の配置のいかんによって大きく影響を受けるのは、設備費のうちの輸送施設費、各施設の用地費、維持、運営費のうちの輸送施設に関するものと輸送に伴なう時間費用などである。なぜなら、用途地域の配置方法により、必要となる輸送施設の延長、能力、輸送所要時間が異なるからである。また、用途地域の配置方法により用地費が異なるのはいうまでもないことである。一方、輸送施設以外の建設費および維持費は、その配置に関係なく、ほぼ一定と考えられる。

そこで、都市施設に要する経費を最小にするためには、輸送施設と用地に要する経費を最小にすればよいことがわかる。ゆえに、用途地域配置計画の評価は、これによればよい。

なお、経費の細部について検討すれば、さらに多くの点について考慮しなければならないが、細部にこだわってはいは用途地域計画のような基本計画は作成できず、このような用途地域計画の性格から細部にこだわるべきでないと考えられるので、ここに述べたような推論を行なったのである。

輸送施設に要する経費は、総輸送量（通過量×距離）がわかれば、それ

に単位輸送量当たりの費用を乗ずることにより求めることができる。輸送費は施設の建設費と運営費から単位輸送量当りの輸送費を算定する。また時間費用は総輸送所要時間に時間価値を乗ずればよい。輸送の内容には、貨物と人があり、両者のうちでもそれぞれ品目あるいは輸送目的によって輸送経費が異なるのが普通である。また、用途地域間の貨物の輸送量はとらえにくいので、トラック交通量としてとらえることにする。人の輸送量は輸送目的によって、通勤、通学、買物、業務、娯楽、その他に分類して各目的別に輸送需要を推定する。輸送量は1日当りの平均値を推定する。地価は何年間かで償却するという考え方にに基づき、1日当りの額を算定する。以上をまとめると、用途地域配置計画の評価値Eは次式で表わされる。

$$E = (\text{貨物輸送量}) \times (\text{単位貨物輸送費}) + (\text{旅客輸送量}) \times (\text{旅客輸送費}) \\ + (\text{貨物の総輸送時間}) \times (\text{貨物の時間価値}) + (\text{旅客の総輸送時間}) \\ \times (\text{旅客の時間価値}) + (\text{用地面積}) \times (\text{地価})$$

(2-4-1)

### 3. 地区間交通量の推定

総輸送量および総輸送時間を推定するためには、貨物および人の地区間交通量を推定する必要があるが、これは次の方法による。

まず、各用途地域の面積に単位面積当りの交通量発生、集中原単位  $h_k$   $a_k$  を乗じて、発生、集中交通量  $T_i$ 、 $U_j$  を求める。すなわち

$$T_i = \sum_k h_k X_{ki}, \quad U_j = \sum_k a_k X_{kj} \quad (2-4-2)$$

ここに、 $X_{ki}$  :  $i$  地区の用途地域  $k$  の面積、 $k$  は商業、工業、準工業、住居各地域その他を数字で表わしたものの。

そして、各地区間の交通量  $t_{ij}$  は次式によって推定する。

$$t_{ij} = \frac{\alpha_j T_i + \beta_i U_j}{r_{ij} \gamma} = \frac{\alpha_j \sum_k h_k X_{ki} + \beta_i \sum_k a_k X_{kj}}{r_{ij} \gamma} \quad (2-4-3)$$

ここに、 $\alpha_j$ 、 $\beta_i$ 、 $\gamma$  : 定数、 $\gamma$  は過去の交通量の観測値から決定する。

$r_{ij}$  :  $i, j$  間の直線距離



式(2-4-3)の与える $t_{ij}$ の $j$ および $i$ に関する和は、それぞれ発生、集中交通量に一致しなければならないが、これは後述する繰り返し計算法により、 $\alpha_j$ 、 $\beta_i$ を修正して満足せしめる。

#### 4. 土地利用率決定モデル

式(2-4-3)で地区間交通量を予測するとき、用途地域の最適配置を求める問題は、以下に示すようにL. P.の問題として取扱うことができる。

土地利用計画に際しては、まず基本的条件として次の二つを考慮しなければならない。

- (1) 都市活動を行なうために必要な用途地域面積を確保すること。
- (2) 各地区の用途地域面積は、利用可能面積を越えないこと。

本文では、これらの条件の下で、式(2-4-1)で表わされる輸送施設および用地に要する経費を最小にする用途地域の配置が最適土地利用計画であると考える。すなわち式(2-4-1)は目的関数である。

目的関数

$$E = \sum_{ij} t_{ij}^t r_{ij} C_t + \sum_{ij} t_{ij}^p r_{ij} C_p + \sum_{ij} t_{ij}^p \frac{r_{ij}}{v_p} b_p + \sum_{ij} t_{ij}^t \frac{r_{ij}}{v_t} b_t + \sum_{ik} \lambda_{ki} C_{ki} \longrightarrow \min \quad (2-4-4)$$

ここに、 $t_{ij}^t$ 、 $t_{ij}^p$ ：地区 $i$ から $j$ への貨物および旅客輸送量、 $C_t$ 、 $C_p$ ：貨物および旅客の輸送費、 $v_t$ 、 $v_p$ ：貨物および旅客の輸送速度、 $b_t$ 、 $b_p$ ：貨物および旅客の時間価値、 $C_{ki}$ ： $i$ 地区の用途地域 $k$ の地価  
また条件式は先の2条件を定式化したものである。

$$\sum_i X_{ki} \geq S_k, \quad X_{ki} \leq A_{ki} \quad (2-4-5)$$

ここに、 $S_k$ ：用途地域 $k$ の全必要面積、 $A_{ki}$ ： $i$ 地区の用途地域 $k$ の総利用可能面積（現状＋将来）

式(2-4-4、5)からなるL. P.の問題の解を求めれば、各地区の用途別開発面積を決定することができる。このとき、式(2-4-3)の $t_{ij}$

の  $j$  および  $i$  に関する合計が与えられた都市活動を行なうために必要な発生、集中交通量  $T_i$ 、 $U_j$  に一致しているかどうか、すなわち、次式（2-4-6）を満足しているかどうか問題になる。

$$\sum_j t_{ij} = T_i, \quad \sum_i t_{ij} = U_j \quad (2-4-6)$$

この問題を解決するために、ここでは次のような計算方法を採用する。

- ① 式（2-4-3）において、 $\alpha_j = \theta_j$ 、 $\beta_i = \tau_i$ （ $\theta_j$ 、 $\tau_i$ は過去の交通量の観測資料から決定する）とおく。
- ② 式（2-4-4、5）からなるL. P.の問題の解を求める。
- ③ 次式で与えられる $\mu_i$ 、 $\eta_j$ を計算し、これらが式（2-4-8）を満足しているかどうかを調べる。

$$\mu_i = T_i / \sum_j t_{ij}, \quad \eta_j = U_j / \sum_i t_{ij} \quad (2-4-7)$$

$$\mu_i \doteq 1.0, \quad \eta_j \doteq 1.0 \quad (2-4-8)$$

- ④ 式（2-4-8）を満足しておれば、そのときの値を、L. P.の問題の解と見なす。もし、式（2-4-8）が成立しなければ、次式によって $\alpha'_j$ 、 $\beta'_i$ を計算し、これを式（2-4-3）の $\alpha_j$ 、 $\beta_i$ に代入して②以下の計算を繰り返す。

$$\alpha'_j = \eta_j \alpha_j, \quad \beta'_i = \mu_i \beta_i \quad (2-4-9)$$

なお、L. P.の条件式として式（2-4-5）の他に、地形上などから、ある地点を通過する交通量に制限のある場合などは、これを条件式として加えることもできる。また、現状を維持する必要のある場合は、用途地域面積は現状以上でなければならないという条件をつけられよい。

さらに将来の地価をどのようにして予測するか、あるいは地価が土地利用計画によって変動するのをどう処理するかという問題があるが、近い将来の地価の予測は可能であり、また予測が困難な遠い将来には地価のもつ意味が小さくなるから、長期計画では地価を無視して機能性を重視した土地利用計画を策定すべきであろう。

交通施設に要する用地は、全用地面積に対する割合を決めてあらかじめ

除外することによって確保する。

## § 5 雇用施設および住宅の配置計画への適用<sup>7)</sup>

都市地域の通勤者の総通勤所要時間を最小にする雇用施設と居住地の配置を求めるには、土地利用率決定モデルの考え方を簡略化して職場および住宅の配置計画に適用すればよい。まず方法論を述べ、つぎにこれを京都市へ適用した例について述べる。

### 1. 通勤者の通勤先と居住地の関係

将来の通勤輸送計画や、雇用施設および住宅の開発計画を策定するためには勤労者の通勤先と居住地の関係がいかんして決まるかを明らかにする必要がある。そこで、各事業所の通勤者の職場と居住地の関係はいかんして決まったかを考えてみる。

いま、ある都市とその都市に密接な関係をもつ周辺地域を対象地域とする。したがって、対象地域内の居住者と従業者のほとんどは地域内に通勤先と居住地を持っている。そうでない人もいくらかいるが、ここではこれらの人については考えないことにする。これは都市地域の通勤問題の主題は前者で、後者はほとんど問題にならない場合が多いからである。

いま、通勤者を、対象地域内に就職する際に自分の居住地が決まっている人 ( $W_1$ ) と、そうでない人 ( $W_2$ ) に分類する。 $W_1$  に属する人とは、持家があってどうしてもそこに住まなければならない人とか、両親と同居しているオフィス・レディーなどである。これらの人はその居住地から通勤可能な範囲内に職場を見つけるであろう。また、 $W_2$  に属する人は、地方から都会に職を求めて転入してくる人とか、対象地域の居住者であるが親とは別に家庭を新しくつくる人などである。このような人は、通勤先である職場をまず決めて、その後で居住地を決めるわけである。

$W_1$  に属する人は、自宅からの通勤時間、使用交通機関の混雑度、乗換え回数などの通勤条件と、賃金、仕事の内容、職場の環境などの職場の条件を考慮して勤務先を決めていると考えられる。また、 $W_2$  に属する人は職場がみつかり、その職場に通勤可能な地域内に、通勤条件と住居費、環境などを考慮して居住地を決めるであろう。

さて、将来時点の対象地域における通勤者を、現在通勤者である人と、そうでない人に分類し、この兩者についてさらに詳しく検討すると、次のような分類が可能である。

#### 将来時点の通勤者

- (1) 現在対象地域内の通勤者で、将来時点でも対象地域内の通勤者である人。これは、現在の通勤者から、将来時点までの間に退職、死亡、転出などにより対象地域内の通勤者でなくなる人を除いて得られる。このような人を  $L_0$  で表わす。
- (2) 今後、あらたに対象地域内に就職する人。これらには次の二つがある。
  - i) 対象地域内の居住地が決まっていそこから通勤できる地域に職場を決める人、すなわち  $W_1$  に属する人である。このような人を  $L_1$  で表わす。
  - ii) 対象地域内でまず職場を決めて、それに適合した住居を見つける人、すなわち  $W_2$  に属する人である。このような人を  $L_2$  で表わす。

つぎに対象地域をいくつかの地区に分割し、これらの地区間の将来時点の通勤流動人口を求める方法について検討する。いま、対象地域内の各地区を  $1, 2, \dots, i, (j), \dots, n$  で表わし、 $j$  地区への全通勤者を  $E_j$  とすると次式が成立する。

$$E_j^t = E_{0j}^t + E_{1j}^t + E_{2j}^t \quad (2-5-1)$$

ここに、 $E_{0j}^t$  は  $L_0$  に属する  $j$  への通勤者

$E_{1j}^t$  は  $L_1$  に属する  $j$  への通勤者

$E_{2j}^t$  は  $L_2$  に属する  $j$  への通勤者

$t$  はすべて  $t$  年度の値

であることを示す。また、 $t$  年度の各地区の発生通勤人口を  $R_i^t$  とすると、この  $R_i^t$  はさきに分類した  $L_0$  に属する人  $R_{0i}^t$ 、 $L_1$  に属する人  $R_{1i}^t$ 、 $L_2$  に属する人  $R_{2i}^t$  の三者からなっているはずである。したがって

$$R_i^t = R_{0i}^t + R_{1i}^t + R_{2i}^t$$

$$\sum_{i=1}^n R_{0i}^t = \sum_{j=1}^n E_{0j}^t, \quad \sum_{i=1}^n R_{1i}^t = \sum_{j=1}^n E_{1j}^t, \quad \sum_{i=1}^n R_{2i}^t = \sum_{j=1}^n E_{2j}^t \quad (2-5-2)$$

である。ここでは将来の地区間通勤流動人口を  $L_0$ ,  $L_1$ ,  $L_2$  に分けて予測する。

まず、 $L_0$  に属する人について考える。現在の地区間通勤流動人口の値はわかっているものとする。いま、地区  $i$  の地区  $j$  への通勤流出率  $P_{ij}$  は次式で求められる。

$$P_{ij} = \frac{R_{0ij}^{t_0}}{R_{0i}^{t_0}}, \quad \sum_{j=1}^n P_{ij} = 1 \quad (2-5-3)$$

ここに、 $R_{0ij}^{t_0}$  は現在時点  $t_0$  における地区  $i$  から地区  $j$  への通勤者数を表わす。このとき、地区間通勤流動人口  $R_{0ij}^{t_0}$  は次式で与えられる。

$$\begin{pmatrix} R_{011}^{t_0} & R_{012}^{t_0} & \cdots & R_{01n}^{t_0} \\ \vdots & & & \vdots \\ R_{0n1}^{t_0} & R_{0n2}^{t_0} & \cdots & R_{0nn}^{t_0} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_{01}^{t_0} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & R_{02}^{t_0} & & 0 \\ & & \ddots & \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & R_{0n}^{t_0} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & \cdots & P_{1n} \\ \vdots & & & \vdots \\ P_{n1} & P_{n2} & \cdots & P_{nn} \end{pmatrix} \quad (2-5-4)$$

ところで、 $L_0$  に属する人の通勤流出率  $P_{ij}$  は今後当分の間ほとんど変化がないものとする。将来時点  $t_l$  の地区間通勤流動人口  $R_{0ij}^{t_l}$  は、将来時点  $t_l$  の各地区の  $L_0$  に属する発生量  $R_{0i}^{t_l}$  が予測されると、次の式で求めることができる。

$$\begin{pmatrix} R_{011}^{t_l} & R_{012}^{t_l} & \cdots & R_{01n}^{t_l} \\ \vdots & & & \vdots \\ R_{0m1}^{t_l} & R_{0m2}^{t_l} & \cdots & R_{0nn}^{t_l} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_{01}^{t_l} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & R_{02}^{t_l} & \cdots & 0 \\ \vdots & & \ddots & \\ 0 & \cdots & \cdots & R_{0n}^{t_l} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & \cdots & P_{1n} \\ \vdots & & & \vdots \\ P_{n1} & P_{n2} & \cdots & P_{nn} \end{pmatrix} \quad (2-5-5)$$

そして、 $R_{0i}^{t_l}$  は年令層別に次のように予測することができる。いま、地区  $i$  の  $(t-1)$  年度の  $(x-1)$  才の人の年間の死亡率を  $d_i^{t-1}(x-1)$ 、対象地域外への転出率を  $e_i^{t-1}(x-1)$ 、退職率を  $f_i^{t-1}(x-1)$  とすると、年令  $x$  才の  $t$  年度の  $L_0$  に属する通勤人口  $R_{0i}^t(x)$  は次式で与えられる。

$$R_{0i}^t(x) = \{1 - d_i^{t-1}(x-1) - e_i^{t-1}(x-1) - f_i^{t-1}(x-1)\} R_{0i}^{t-1}(x-1) \quad (2-5-6)$$

ゆえに、 $d_i^t(x)$ ,  $e_i^t(x)$ ,  $f_i^t(x)$  の予測を行なえば式(2-5-6)において、 $t$  を  $t_0$ ,  $t_1 = t_0 + 1, \dots, t_l$  と大きくすることによって  $R_{0i}^t(x)$  を求めることができる。また、

$$R_{0i}^t = \sum_x R_{0i}^t(x) \quad (2-5-7)$$

である。

つぎに、 $t$  年度にあらたに対象地域内に就職する人で居住地が決まっていってそこから通勤できる地域に職場を求める  $L_1^t$  に属する人について考える。 $R_{1ij}^t$  を、 $L_1^t$  に属する  $i$  地区から  $j$  地区に通勤する人数とすると、

$$E_{1j}^t = \sum_{i=1}^n R_{1ij}^t, \quad R_{1i}^t = \sum_{j=1}^n R_{1ij}^t \quad (2-5-8)$$

という関係がある。 $L_1$  に属する人は自分の勤務先を選ぶ際には、前述のように通勤条件と職場条件の両者を考慮するが、労働力の需要の発生がすべての求職者に同時に伝達されるということは不可能なので、通勤先は、これらの職場および通勤条件よりむしろ就職の機会が何処で発生するかということによって決まる場合が多いようである。したがって、 $R_{1ij}^t$  は  $t$  年度の  $j$  地区の増加雇用人口  $\Delta E_j^t$  に比例して分布すると考えられる。すなわち、

$$R_{1ij}^t = \frac{\Delta E_j^t}{\sum_j \Delta E_j^t} \times R_{1i}^t = g_j^t \cdot R_{1i}^t \quad (2-5-9)$$

こうして就職した人  $R_{1i}^t$  の通勤流出率  $g_j^t$  もその後当分の間は変化しないものと考え、さきの  $L_0$  に属する人と同様にして  $t$  年度に就職した人で  $t_l$  年度においても対象地域内の通勤者である人を  $R_{1i}^{t_l(t)}$  とすると、 $L_1^t$  の  $t_l$  年度における地区間流動人口  $R_{1ij}^{t_l(t)}$  はつぎのようになる。

$$R_{1ij}^{t_l(t)} = g_j^t \cdot R_{1i}^{t_l(t)} \quad (2-5-10)$$

ゆえに、 $t_0$ 年度から $t_l$ 年度までに発生する $L_1$ に属する人の $t_l$ 年度における地区間流動人口 $R_{1ij}^{t_l-t_0}$ はつぎのようになる。

$$R_{1ij}^{t_l-t_0} = \sum_{t=t_0}^{t_l} g_j^t \cdot R_{1i}^{t_l(t)} \quad (2-5-11)$$

ここでは、新規就職者の通勤先を決めるに際しては、対象地域内の居住地の決まっている人の通勤先を優先的に決め、その後で、不足労働力を居住地の決まっていない人で充足するという立場をとる。そうすると、 $\Delta E_j^t$ は $E_j^t$ が与えられておれば、次式によって求めることができる。

$$\Delta E_j^t = E_j^t - E_{0j}^t \quad (2-5-12)$$

そして、 $R_{1i}^t$ はつぎのようにして予測する。 $R_{1i}^t$ は $t$ 年度に対象地域内に新規に就職する $i$ 地区の居住者で、就職後も居住地を変えない人であり、居住地の変わらない転職者も含まれる。したがって、 $\alpha_i^t(x)$ を $t$ 年度の $i$ 地区の $x$ 才の人の新規就職率とし、 $\beta_i^t(x)$ をそのうちの就職後居住地を変えない人の比率とすると、 $R_{1i}^t$ は次式で与えられる。

$$R_{1i}^t = \sum_x \alpha_i^t(x) \beta_i^t(x) P_i^t(x) \quad (2-5-13)$$

ここに、 $P_i^t(x)$ は $t$ 年度の $i$ 地区の $x$ 才の人口である。

さらに、 $R_{1i}^{t_l(t)}$ はつぎのようにして求める。 $R_{1i}^t$ は $t_l$ 年度までに死亡、対象地域外への転出、退職などにより減少するから、 $R_{0i}^t$ の予測の際に用いた $d_i^t(x)$ 、 $e_i^t(x)$ 、 $f_i^t(x)$ を用いると、 $R_{1i}^{t+k+1(t)}(x)$ と $R_{1i}^{t+k(t)}(x-1)$ の間につぎの関係が成立する。

$$\begin{aligned} R_{1i}^{t+k+1(t)}(x) &= \{1 - d_i^{t+k}(x-1) - e_i^{t+k}(x-1) - f_i^{t+k}(x-1)\} \\ &\quad \times R_{1i}^{t+k(t)}(x-1) \end{aligned} \quad (2-5-14)$$

よって、 $R_{1i}^{t_l(t)}$ は次式で求められる。

$$R_{1i}^{t_l(t)} = \sum_x R_{1i}^{t_l(t)}(x) \quad (2-5-15)$$

また、 $t_0$ 年度から $t_l$ 年度までの $L_1$ に属する人の $t_l$ 年度における

人員  $R_{1i}^{t_l \sim t_0}$  は、

$$R_{1i}^{t_l \sim t_0} = \sum_{t=t_0}^{t_l} R_{1i}^{(t)} \quad (2-5-16)$$

となる。

最後に  $t$  年度に対象地域内でまず職場を決めて、そこに通勤可能な地域に居住地を見つける人  $L_2^t$  について考える。 $R_{2ij}^t$  を  $L_2^t$  の  $i$  地区から  $j$  地区への通勤人口とすると、

$$E_{2j}^t = \sum_{i=1}^n R_{2ij}^t, \quad R_{2i}^t = \sum_{j=1}^n R_{2ij}^t \quad (2-5-17)$$

という関係が成立する。なお、 $E_{2j}^t$  はつぎのようにして求める。各地区の  $L_1^t$  と  $L_2^t$  の従業者数  $\Delta E_j^t$  は  $\Delta E^t = \sum_{j=1}^n \Delta E_j^t$  とすると（対象地域内の総通勤従業者数  $E^t$  は経済計画により与えられるので、 $\Delta E^t = E^t - \sum_{j=1}^n E_{0j}^t$  により、 $\Delta E^t$  が求まる。）

$$\Delta E_j^t = g_j^t \cdot \Delta E^t \quad (2-5-18)$$

で与えられる。ゆえに、

$$E_{2j}^t = g_j^t \Delta E^t - g_j^t R_{1j}^t = g_j^t E_2^t \quad (2-5-19)$$

ここに、

$$R_{1i}^t = \sum_{j=1}^n R_{1ij}^t, \quad E_2^t = \sum_{j=1}^n E_{2j}^t \quad (2-5-20)$$

$L_2$  に属する人の居住地は、通勤条件および住居費、住宅環境などを考慮して決められているだろう。しかし、通勤条件のよい所は住居費が高いといった具合で、これらの条件を総合した居住地条件は地区間でそれほど差がないと考えられる。したがって、 $j$  地区に通勤可能な各地区の空家および新築住宅数から居住可能通勤人口の増加数  $R_{2i}^t$  が与えられると、 $j$  地区の従業者  $E_{2j}^t$  の居住地は  $R_{2i}^t$  に比例して分布するものとする。すなわち、

$$R_{2ij}^t = \frac{R_{2i}^t}{\sum_{i=1}^n R_{2i}^t} \times E_{2j}^t = u_i^t E_{2j}^t = u_i^t g_j^t E_2^t \quad (2-5-21)$$



この  $L_2^t$  の居住地分布率  $u_i^t$  はその後当分の間は変化しないものと考え、 $t$  年度に就職した人で  $t_l$  年度においても対象地域内の従業者である人を  $E_{2j}^{t_l(t)}$  とすると、 $L_2^t$  の  $t_l$  年度における地区間流動人口  $R_{2ij}^{t_l(t)}$  はつぎのようになる。

$$R_{2ij}^{t_l(t)} = u_i^t E_{2j}^{t_l(t)} \quad (2-5-22)$$

ゆえに、 $t_0$  年度から  $t_l$  年度までの  $L_2$  に属する人の、 $t_l$  年度における地区間流動人口  $R_{2ij}^{t_l \sim t_0}$  はつぎのようになる。

$$R_{2ij}^{t_l \sim t_0} = \sum_{t=t_0}^{t_l} u_i^t E_{2j}^{t_l(t)} \quad (2-5-23)$$

ところで、 $E_{2j}^{t_l(t)}$  はつぎのようにして予測する。いま、 $E_2^{t_l(t)} = \sum_{j=1}^n E_{2j}^{t_l(t)}$  とすると、 $E_2^t$  は  $t_l$  年度までに死亡、対象地域外への転出、退職などにより減少するから  $x$  才の従業者の死亡率、転出率、退職率を  $d^t(x)$ 、 $e^t(x)$ 、 $f^t(x)$  とすると、 $(t+k+1)$  年度の  $x$  才の従業者  $E_2^{t+k+1(t)}(x)$  と  $(t+k)$  年度の  $(x-1)$  才の従業者  $E_2^{t+k(t)}(x-1)$  の間の関係は次のように表わされる。

$$E_2^{t+k+1(t)}(x) = \left\{ 1 - d^{t+k}(x-1) - e^{t+k}(x-1) - f^{t+k}(x-1) \right\} \times E_2^{t+k(t)}(x-1) \quad (2-5-24)$$

よって

$$E_2^{t_l(t)} = \sum_x E_2^{t_l(t)}(x) \quad (2-5-25)$$

であり、また、 $t_0$  年度から  $t_l$  年度までの  $L_2$  に属する人の  $t_l$  年度における人員  $E_2^{t_l \sim t_0}$  は次式で与えられる。

$$E_2^{t_l \sim t_0} = \sum_{t=t_0}^{t_l} E_2^{t_l(t)} \quad (2-5-26)$$

したがって

$$E_{2j}^{t_l(t)} = g_j^t E_2^{t_l(t)} \quad (2-5-27)$$

が得られる。

## 2. 雇用施設および住宅の配置計画

対象地域内の通勤者の総通勤時間を最小にする雇用施設と住宅の配置について考える。 $L_0$ 、 $L_1$ に属する人の居住地と $L_0$ の通勤先はあらかじめ決まっているので原則として変えることはできない。しかし、 $L_1$ の通勤先と $L_2$ の通勤先および居住地は適当に決めることができるので、 $L_1$ 、 $L_2$ については総通勤時間が最小になる通勤先と居住地の配置を考えることができる。

ここでは目標年度 $t_m$ を決め、現在時点 $t_0$ から $t_m$ までの総通勤時間が最小になる雇用施設および住宅の配置計画について検討する。地区 $i, j$ 間の平均通勤時間を $\tau_{ij}$ とすると、対象地域内の $L_0$ 、 $L_1$ 、 $L_2$ の総通勤時間は次のようになる。

i)  $L_0$ の通勤時間 $T_0$

$$T_0 = \sum_{t=t_0}^{t_m} \sum_{i,j} R_{0ij}^t \tau_{ij} = \sum_{t=t_0}^{t_m} \sum_{i,j} R_{0i}^t P_{ij} \tau_{ij} \quad (2-5-28)$$

ii)  $L_1$ の通勤時間 $T_1$

$$T_1 = \sum_{t=t_0}^{t_m} \sum_{t'=t_0}^{t_m} \sum_{i,j} R_{1ij}^{t'(t)} \tau_{ij} = \sum_{t=t_0}^{t_m} \sum_{t'=t_0}^{t_m} \sum_{i,j} g_j^t R_{1i}^{t'(t)} \tau_{ij} \quad (2-5-29)$$

( $t' \geq t$ ) ( $t' \geq t$ )

iii)  $L_2$ の通勤時間 $T_2$

$$T_2 = \sum_{t=t_0}^{t_m} \sum_{t'=t_0}^{t_m} \sum_{i,j} R_{2ij}^{t'(t)} \tau_{ij} = \sum_{t=t_0}^{t_m} \sum_{t'=t_0}^{t_m} \sum_{i,j} u_i^t E_{2j}^{t'(t)} \tau_{ij} \quad (2-5-30)$$

( $t' \geq t$ ) ( $t' \geq t$ )

したがって総通勤時間は $T_0 + T_1 + T_2$ である。 $T_0$ は人為的に変えることは出来ない一定値であるが、 $T_1$ は $g_j^t$ を変えることにより、また $T_2$ は $u_i^t$ を変えることにより増減する。 $g_j^t$ を変えることは雇用余力の比率を変えること、すなわち雇用施設の配置を変えることであり、 $u_i^t$ を変えることは住宅配置を変えることである。結局、総通勤時間を最小にする雇用施設および住宅の配置をきめるためには、 $T_1 + T_2$ が最小になる $g_j^t$ 、 $u_i^t$ を求めればよい。以下、この問題の考察を行なう。

各地区の居住可能通勤人口  $R_i$  および雇用可能人口  $E_j$  が地区の面積および過去の傾向値から与えられる場合について考える。現存する雇用施設および住宅をとり払うことは望ましくないので、各地区の雇用人口および居住人口は最小限現在のそれら以上でなければならない。ただし、人口および雇用労働者数が全体的に減少する場合はこの限りでない。また各地区の通勤人口および雇用人口は  $R_i$  および  $E_j$  を越えることはできない。ここでは、人口および雇用労働者の減少のない場合を考えると、 $g_j^t$ 、 $u_i^t$  には次のような制約条件がつく。

$$\sum_{j=1}^n g_j^t = 1, \quad g_j^t \geq 0 \quad (t=t_0+1, \dots, t_m) \quad (2-5-31)$$

$$E_j^{t_{l-1}} \leq \sum_{i=1}^n R_{0i}^{t_l} P_{ij} + \sum_{t=t_0}^{t_l} g_j^t R_1^{t_l(t)} + \sum_{t=t_0}^{t_l} E_{2j}^{t_l(t)} \leq E_j$$

$$(t_l=t_0+1, \dots, t_m) \quad (2-5-32)$$

$$j=1, 2, \dots, n$$

$$\text{ここに、} E_j^{t_{l-1}} = \sum_{i=1}^n R_{0i}^{t_{l-1}} P_{ij} + \sum_{t=t_0}^{t_{l-1}} g_j^t R_1^{t_{l-1}(t)} + \sum_{t=t_0}^{t_{l-1}} E_{2j}^{t_{l-1}(t)}$$

$$R_1^{t_l(t)} = \sum_{i=1}^n R_{1i}^{t_l(t)}$$

$$E_{2j}^{t_l(t)} = g_j^t E_2^{t_l(t)}$$

さらに、

$$\sum_{i=1}^n u_i^t = 1, \quad u_i^t \geq 0 \quad (t=t_0+1, \dots, t_m) \quad (2-5-33)$$

$$(i=1, 2, \dots, n)$$

$$R_i^{t_{l-1}} \leq R_{0i}^{t_l} + \sum_{t=t_0}^{t_l} R_{1i}^{t_l(t)} + \sum_{t=t_0}^{t_l} \sum_{j=1}^n R_{2ij}^{t_l(t)} \leq R_i \quad (t_l=t_0+1, \dots, t_m)$$

$$(i=1, 2, \dots, n)$$

$$(2-5-34)$$

$$\text{ここに、} R_i^{t_{l-1}} = R_{0i}^{t_{l-1}} + \sum_{t=t_0}^{t_{l-1}} R_{1i}^{t_{l-1}(t)} + \sum_{t=t_0}^{t_{l-1}} \sum_{j=1}^n R_{2ij}^{t_{l-1}(t)}$$

$$R_{2ij}^{t_l(t)} = u_i^t E_{2j}^{t_l(t)} = u_i^t g_j^t E_2^{t_l(t)}$$

ここではまず  $g_j^t$  を決めて、その後で  $u_i^t$  を決めるという方法をとる。そこで、第一に、式 (2-5-31、32) という条件のもとで、 $T_1$  が最小になる  $g_j^t$  を求め、つぎにこれら  $g_j^t$  を用いて、式 (2-5-33、34) という条件のもとで  $T_2$  が最小となる  $u_i^t$  を求めればよい。したがって、これは Linear Programming の問題であることがわかり、シンプレックス法により容易に解を求めることができる。

最適解  $g_j^t$ 、 $u_i^t$  が求まると、 $\Delta E_j^t$  と  $R_{2i}^t$  は次式で与えられる。

$$\Delta E_j^t = g_j^t (\Delta E^t) = g_j^t (R_1^t + E_2^t) \quad (2-5-35)$$

$$R_{2i}^t = u_i^t E_2^t \quad (2-5-36)$$

ゆえに、 $t$  年度に新規に  $j$  地区で開発すべき雇用需要は  $(E_{0j}^t + \Delta E_j^t - E_j^{t-1})$  で、また  $i$  地区で開発すべき通勤人口居住能力は  $(R_{0i}^t + R_{1i}^t + R_{2i}^t - R_i^{t-1})$  である。

なお、人口および雇用労働者の減少がある場合も、制限条件式 (2-5-32、34) の下限値を変えることにより最適解を求めることができる。

### 3. 京都市への適用<sup>8)</sup>

以上で述べた方法を用いて京都市における1975年の雇用施設および住宅の配置計画の策定を試みる。基準年度は1960年とする。ここでは資料の関係で、1975年における各地区間通勤者の総通勤時間を最小にする計画について検討する。地区としては行政区を採用し、市域に隣接する周辺地区を一つにまとめて1地区と考える。

#### (1) 雇用可能労働者数および居住可能通勤人口の推定

各地区の雇用可能労働者数は過去の傾向値を用いて予測し、居住可能通勤人口は土地利用計画から算定した。基準年度の雇用労働者数、居住通勤人口と予測結果を表2-5-1に示す。

#### (2) $P_{ij}$ と $R_{0ij}^{75}$ の推定

$R_{0ij}^{60}$  から  $P_{ij}$  を求めたものが表2-5-2である。そして  $R_{0i}^{60}$  を用いて  $R_{0i}^{75}$  を5才単位に区切った年令層別に予測した。その結果を表2-5-3に示した。これを用いて予測した  $R_{0ij}^{75}$  を表2-5-4に示す。

(3)  $R_{1i}^{75\sim60}$ ,  $E_2^{75}$  の推定

$R_{1i}^{75\sim60}$  は 1960 年度の人口を基にして、5 才単位の年令層別に予測し、その結果を表 2-5-3 に示した。また、対象地域全体の 1975 年の総従業者数から  $E^{75}$  を予測し、

$$E_2^{75\sim60} = E^{75} - E_0^{75} - R_1^{75\sim60}$$

によって  $E_2^{75}$  を求めた。  $E_2^{75\sim60} = 97,612$

そして、雇用施設分布率  $g_j$  および住宅分布率  $u_i$  は次式で与えられるものとする。

$$g_j = \frac{\Delta E_j^{75\sim60}}{\Delta E^{75\sim60}} = \frac{\sum_{i=1}^n R_{1ij}^{75\sim60} + E_{2j}^{75\sim60}}{R_1^{75\sim60} + E_2^{75\sim60}}, u_i = \frac{R_{2i}^{75\sim60}}{R_2^{75\sim60}}$$

## (4) 総通勤時間

1975 年の各地区間の平均通勤時間は表 2-5-5 に示すようなものであるとする。このとき、1975 年の総通勤時間を与える式は次のようになる。

$$\begin{aligned} T_0 &= \sum_{i,j} R_{0ij}^{75} \tau_{ij} \\ T_1 &= \sum_{i,j} R_{1ij}^{75\sim60} \tau_{ij} = \sum_{i,j} g_j R_{1i}^{75\sim60} \tau_{ij} \\ T_2 &= \sum_{i,j} R_{2ij}^{75\sim60} \tau_{ij} = \sum_{i,j} u_i g_j E_2^{75\sim60} \tau_{ij} \end{aligned}$$

## (5) リニヤー・プログラミング

つぎの二つの L. P. の問題の解を求めれば総通勤時間を最小にする各地区の雇用施設と住宅の開発量を求めることができる。

$$i) \text{ 目的関数 } \min. T_1 = \min. \sum_{i,j} g_j R_{1i}^{75\sim60} \tau_{ij}$$

制限式

$$\sum_{j=1}^n g_j = 1, \quad g_j \geq 0$$

$$E_j^{60} \leq E_j^{75} + g_j (R_1^{75\sim60} + E_2^{75\sim60}) \leq E_j \quad (j=1, 2, \dots, n)$$

2-24

ii) 目的関数  $\min T_2 = \min \sum_{i,j} u_i g_j E_2^{75 \sim 60} \tau_{ij}$   
 制限式

$$\sum_{i=1}^n u_i = 1, \quad u_i \geq 0$$

$$R_i^{60} \leq R_{0i}^{75} + R_{1i}^{75 \sim 60} + u_i E_2^{75 \sim 60} \leq R_i \quad (i=1, 2, \dots, n)$$

1960年から1975年までに開発すべき雇用施設と住宅の地区別の数量をその収容労働人口で示したものが表2-5-6である。

そして、1975年の対象地域における区間通勤流動人口の予測値

$R_{ij}^{75}$  ( $= R_{0ij}^{75} + R_{1ij}^{75 \sim 60} + R_{2ij}^{75 \sim 60}$ ) を表2-5-7に示した。

表2-5-1

区	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	計
1960年通勤従業員(人)	15,719	40,113	32,548	78,426	27,100	69,070	33,602	35,970	25,104	41,008	398,660
収容可能通勤従業員(人)	31,990	52,870	46,820	112,840	35,490	118,090	80,980	72,780	35,130	51,200	638,190
1960年居住通勤者(人)	33,869	35,462	52,760	39,559	39,750	36,950	33,140	43,676	41,232	42,259	398,660
居住可能通勤者(人)	49,100	35,600	87,600	39,700	76,600	37,000	38,300	95,800	98,400	151,100	709,200

1. 北区 2. 上京区 3. 左京区 4. 中京区 5. 東山区 6. 下京区 7. 南区 8. 右京区 9. 伏見区

10. 周辺部

表2-5-2 1960年  $P_{ij}$ 

終点 起点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	計
1	0.2602	0.1703	0.0579	0.1837	0.0250	0.1127	0.0296	0.0604	0.0107	0.0895	1.0000
2	0.0470	0.3954	0.0475	0.2030	0.0239	0.1102	0.0287	0.0546	0.0101	0.0796	1.0000
3	0.0289	0.0976	0.3678	0.1804	0.0437	0.1062	0.0292	0.0406	0.0122	0.0935	1.0000
4	0.0186	0.0852	0.0322	0.4517	0.0270	0.1494	0.0383	0.0897	0.0086	0.0993	1.0000
5	0.0115	0.0411	0.0493	0.1653	0.3372	0.1502	0.0577	0.0322	0.0274	0.1281	1.0000
6	0.0106	0.0420	0.0214	0.1648	0.0403	0.4516	0.0775	0.0600	0.0165	0.1162	1.0000
7	0.0067	0.0319	0.0170	0.1016	0.0326	0.1789	0.4340	0.0466	0.0263	0.1246	1.0000
8	0.0223	0.0660	0.0359	0.1868	0.0189	0.1119	0.0385	0.3983	0.0073	0.1142	1.0000
9	0.0074	0.0331	0.0234	0.1055	0.0497	0.1105	0.0708	0.0204	0.3892	0.1899	1.0000
10	0.0148	0.0784	0.0562	0.2149	0.0755	0.2793	0.1037	0.0713	0.1057	0	1.0000

表2-5-3 居住通勤者数

ゾーン	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	計
$R_{0i}^{60}$ (人)	33,889	35,462	52,760	39,559	39,750	36,950	33,140	43,676	41,232	42,259	398,657
$R_{0i}^{75}$ (人)	25,385	24,529	38,181	26,603	32,990	25,944	23,205	34,638	31,645	34,300	297,420
$R_{1i}^{75-80}$ (人)	5,456	10,933	7,552	12,956	3,635	11,006	6,980	4,609	8,554	16,900	88,581

表2-5-4 1975年 $R_{0ij}^{75}$ 通勤者数(人)

終点 起点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	計
1	6,605	4,323	1,470	4,663	635	2,861	751	1,533	272	2,272	25,385
2	1,153	9,699	1,165	4,979	586	2,703	704	1,339	248	1,953	24,529
3	1,103	3,726	14,043	6,888	1,669	4,055	1,115	1,550	466	3,570	38,181
4	495	2,267	857	12,017	718	3,974	1,019	2,386	229	2,642	26,603
5	379	1,356	1,626	5,453	11,124	4,955	1,904	1,062	904	4,226	32,990
6	275	1,090	555	4,276	1,046	11,716	2,011	1,557	428	2,989	25,944
7	155	740	394	2,358	756	4,151	10,071	1,081	610	2,891	23,205
8	772	2,286	1,244	6,470	655	3,876	1,334	13,796	253	3,956	34,638
9	234	1,047	740	3,339	1,573	3,497	2,240	646	12,316	6,009	31,645
10	508	2,689	1,928	7,371	2,590	9,580	3,557	2,446	3,626	0	34,300
$R_{0j}^{75}$	11,679	29,223	24,022	57,814	21,352	51,368	24,706	27,396	19,352	30,508	297,420



表2-5-5 通勤所要時間(分)

終点 起点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	10	15	25	30	45	40	40	30	70	120
2	15	10	15	15	35	25	35	20	55	110
3	25	15	10	15	25	30	40	40	55	110
4	30	15	15	10	20	15	25	30	40	100
5	45	30	20	15	10	15	20	45	40	100
6	40	25	30	15	25	10	15	40	30	95
7	40	35	40	25	25	15	10	40	20	90
8	30	20	40	30	45	40	40	10	70	115
9	70	55	55	40	40	30	20	70	10	85
10	120	110	110	100	100	95	90	115	85	-

表2-5-6

ゾーン	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	計
$\varepsilon_j$	0.0217	0.0585	0.0458	0.2955	0.0309	0.3583	0.0560	0.0460	0.0309	0.0564	1.0000
$u_i$	0.0310	0	0.4204	0	0.4095	0	0.0831	0.0454	0.0106	0	1.0000
雇用施設 開発量(人)	0	0	0	34,408	0	49,011	1,531	0	0	0	84,950
住居開発 量(人)	0	0	34,009	0	36,847	0	5,157	0	0	0	76,013

表2-5-7 1975年区間通勤者数 (人)

終点 起点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	計
1	6,789	4,819	1,859	7,169	897	5,900	1,226	1,923	534	2,751	33,867
2	1,390	10,339	1,666	8,210	924	6,620	1,316	1,842	586	2,570	35,463
3	2,157	6,568	1,626	21,246	3,170	21,464	3,836	3,785	1,967	6,311	86,773
4	776	3,025	1,450	15,845	1,118	8,616	1,745	2,982	629	3,373	39,559
5	1,325	3,907	3,623	18,339	12,471	20,579	4,346	3,068	2,251	6,686	76,595
6	514	1,734	1,059	7,528	1,386	15,659	2,627	2,063	768	3,610	36,948
7	482	1,623	1,086	6,818	1,223	9,558	10,916	1,775	1,077	3,743	38,301
8	968	2,815	1,658	9,142	934	7,116	1,840	14,212	532	4,466	43,683
9	442	1,608	1,179	6,173	1,869	6,933	2,777	1,087	12,612	6,549	41,229
10	875	3,678	2,702	12,365	3,112	15,635	4,503	3,223	4,148	953	51,194
計	15,718	40,116	32,551	112,835	27,104	118,080	35,132	35,960	25,104	41,012	483,612

## § 6 結 語

合理的な都市交通計画を策定するためには、まず第一に輸送需要の発生源である用途地域の配置の妥当性を検討する必要がある。しかるに、従来は、土地利用計画があらかじめ与えられたものとして交通計画を策定する場合が多かった。これでは、与えられた条件をすべて満足する交通計画を策定しても、その基礎になる土地利用計画に欠陥があれば、その交通計画が適切なものであるということとはできない。そこで本文では、このような欠点を除去するための一つの方法論を提案したわけである。

この方法では、従来の研究および経験から得られた用途地域配置の基本原則により都市内用地の用途を決定し、その後に各地区の都市施設の建設費および維持費を最小にする土地利用率を決定する。すなわち、土地利用計画の目的である快適な都市環境の実現を、都市内用地の用途を用途地域配置の基本原則に従って決定することによって達成することを前提として、都市活動の経済的効率の向上を計ることに重点を置いている。

都市施設の建設費および維持費を最小にすることは、輸送費と用地費の和を最小にすることと等価であるので、本法では輸送費と用地費の和が最小になる土地利用計画をL.P.の手法を利用して求める。

さらにこれらを簡略化した、通勤交通から見た最適土地利用計画すなわち職場と住宅の最適配置を求めるための方法論を述べ、1975年の京都市の住宅と職場の最適配置を求める問題に適用した。

つぎにここに提案した手法の問題点について述べる。まず用途地域配置の基本原則に従って用地の用途を決めることによって快適な都市環境をどの程度実現できるかという問題がある。

また§4、および§5の計算方法で求めた地区間交通量がどの程度正しい将来交通量を与えているかという問題がある。交通量の予測精度の良否はこの方法で得られた土地利用計画の妥当性の大小と密接な関係にあるので、これにより土地利用計画の妥当性を検討することができる。

特に、都市構造に大きな変革のある場合たとえば都市が立体化するような場合には交通量の予測精度が悪くなると考えられるので、本法の適用に際し

## 2-30

ては過去の観測交通量によって適合性の検討を行ない、予測精度を確認する必要がある。

さらに従来の方法による土地利用計画と本法の与える土地利用計画にどの程度差が生ずるかという点についても検討すべきであるが、ここでは行なわなかったので今後の課題としたい。

## 参 考 文 献

- 1) 谷口成之：都市計画、コロナ社、pp. 65~88, 昭和39年8月。
- 2) 国土計画協会編：地域計画要覧, 国土計画協会, pp. 122~129, 337~358  
昭和41年3月。
- 3) F. スチュアート・チェビン・ジュニア著, 佐佐波秀彦, 三輪雅久共訳：都市の土地利用  
計画, 鹿島出版会, 昭和41年12月。
- 4) 岩井, 加藤, 柴田, 八十島編：都市計画, 都市問題講座7, 有斐閣, pp. 146~147  
昭和41年4月。
- 5) 前掲2) pp. 129~133から引用した。
- 6) 河上省吾：用途地域配置モデルについて, 土木学会中部支部昭和43年度研究発表会講演  
概要集, 昭和43年11月。
- 7) E. Kometani and S. Kawakami : On an Optimum Allocation  
of Workplace and Residence , Memoirs of the Faculty  
of Eng., Kyoto Univ. Vol.27, Part 4, Oct. 1965。
- 8) 京都市行政局統計課：京都市勢統計年鑑, 昭和35, 36, 37年版, 京都市役所, 昭和  
36, 37, 38年。
- 9) J. F. Kain : The Journey-to-work as a Determinant of  
Residential Location, Papers and Proceedings of the  
Regional Science Association. Vol. 9, pp. 137~160, 1962。
- 10) 大来佐武郎編：都市開発の展望, 都市開発講座3, 鹿島出版会, 昭和42年12月。
- 11) L. S. Goddard : Mathematical Techniques of Operational  
Research, Pergamon Press, 1963。
- 12) 今野博：都市の開発, 山海堂, pp. 46~60, 昭和38年4月。
- 13) 紺野昭：工業地計画論, 相模書房, pp. 159~252, 昭和42年1月。

### 第3章 通勤・通学交通の発生・集中量の予測

#### § 1 概 説

本章では、ある地域における通勤・通学者の発生・集中量を予測する方法について考察する。まず発生・集中交通量の予測方法を原単位法を含む関数モデル法と輸送需要の発生機構による方法に大別して、それぞれについて概述する。つぎに、通勤・通学者の発生、集中量の観測資料および発生機構を分析して、予測方法の有用性の比較検討を行なう。このとき都市全体の発生集中量の予測には、原単位法と発生機構による方法を、また都市内の各用途地域のそれには関数モデル法をそれぞれ用いることを前提として、わが国の都市および京都市と名古屋市の用途地域の通勤・通学者発生・集中量について分析を行なう。

輸送需要の発生・集中量を予測する対象として都市全体と、それを構成する用途地域の二つを採り上げるのは、次の理由による。

発生、集中量の予測に際して、前者により都市全体の値を、後者により用途地域ごとの値を求め、両者を比較検討することによって推定値の精度を上げることが期待できるからである。

#### § 2 予 測 方 法

旅客交通の発生・集中量の予測方法には、大別して経済指標や都市施設の規模と発生・集中量の相関関係を用いる原単位法および関数モデル法と、旅客交通の発生機構を考慮して予測する方法の二つがある。以下でこれらについて説明する。

##### 1 原単位法と関数モデル法<sup>1)</sup>

いま対象地域をいくつかの地区に分割したとき、 $i$ 地区の旅客発生量  $T_i$  は、その地区の都市活動の反映であるから、地区の人口、就業者数、土地利用種別、都市施設の種類と規模などによって相違する。そこで、 $x_{i1}$  ,  $x_{i2}$  ,  $\dots$  ,  $x_{in}$  を  $i$ 地区の経済指標もしくは施設の数、大きさを表

わす変数とすると、一般に $T_i$ は $x_{ij}$  ( $j=1, 2, \dots, n$ )の関数として表わすことができる。

$$T_i = f(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}) \quad (3-2-1)$$

いま、 $f$ の形として1次式を用いると、

$$T_i = a_1 x_{i1} + a_2 x_{i2} + \dots + a_n x_{in} + a_{n+1} \quad (3-2-2)$$

であり、 $a_1, a_2, \dots, a_n, a_{n+1}$  は定数である。

このとき、各施設から発生する交通量の和として、発生交通量を求めたいときには、商業地域、工業地域、住居地域などごとに単位面積当たりの発生交通量を原単位として求めておき、これらを $a_j$  ( $a_{n+1} = 0$ ) とすると、各地域の面積 $x_{ij}$ を与えれば発生交通量 $T_i$ を得る。また、 $x_{ij}$ として人口、工業生産高、商店数、商品販売額などの経済指標を用い、 $T_i$ が $x_{ij}$ の関数式(3-2-2)によって与えられるとすると、同様に $x_{ij}$ を決めれば $T_i$ を求めることができる。このように式(3-2-2)を利用して発生交通量を予測する際に、前者のように種々の原単位 $a_1, a_2, \dots, a_n$ を仮定する方法と、式(3-2-2)を各地域ごとの現在の経済指標と発生交通量との関係を表わす関数と考えて、最小自乗法によって係数 $a_1, a_2, \dots, a_{n+1}$ を算出する方法とがある。前者を原単位法、後者を関数モデル法とよぶ。なお、関数モデル法では、関数形として次式の形を用いることもある。

$$T_i = k (x_{i1})^a (x_{i2})^\beta \dots (x_{in})^\delta \quad (3-2-3)$$

集中交通量についても全く同様の方法を用いることができる。

発生・集中量の将来予測では、これらの係数の値 $a_j$ が将来も不変であるかということがきわめて重要な問題となる。また、関数モデル法で説明変数の数が増えると、実績データに最小自乗法を適用したとき、本来正数であるべき係数の値が、変数間の線型重合のため負数になることがしばしば発生する。したがって、式(3-2-2)を用いる場合は、

原単位法によるか、関数モデル法では変数の数をあまり多くしない方がよいようである。

## (2) 輸送需要の発生機構による方法

旅客輸送は、通勤・通学、買物、娯楽、業務などの目的をもっているため、このような目的の輸送需要がどのような過程を経て、どれくらいのひん度で発生するかを解明し、こうして明らかになった輸送需要の発生機構から発生・集中交通量を予測しようとするのが本法の特徴である。

ここでは、通勤・通学輸送の発生機構から交通量を予測する方法を示す。ある地域の1日の通勤・通学発生・集中交通量は、その地域に居住する通勤・通学者数が発生量となり、その地域の職場と学校に所属している通勤・通学者数が集中量となる。したがって、これらの通勤・通学者数を予測すれば、発生・集中量を予測したことになる。

そこで、まず男女年令別予測人口に男女年令別就業率を乗じて、居住就業者数を求め、つぎに都市の産業構造のデータから得られる産業別就業者比率を用いて、産業別居住就業者数を予測する。ところで、就業者の中には自宅で働き、通勤しない自宅就業者がいるので、産業別自宅就業率を用いて、産業別自宅就業者数を予測し、先の就業者数からこれを除くと産業別自宅外就業者数すなわち通勤者発生量が得られる。この予測過程をフローチャートで示すと図3-2-1のようになる。また、通学者発生量は、男女年令別予測人口に男女年令別就学率を乗ずることによって得られる。

一方、通勤交通集中量は、その地域での従業者数から自宅就業者数を除けば得られるので、産業別に、つぎのようにして予測する。

都市では、1次産業従業者はきわめて少ないので、これは無視する。

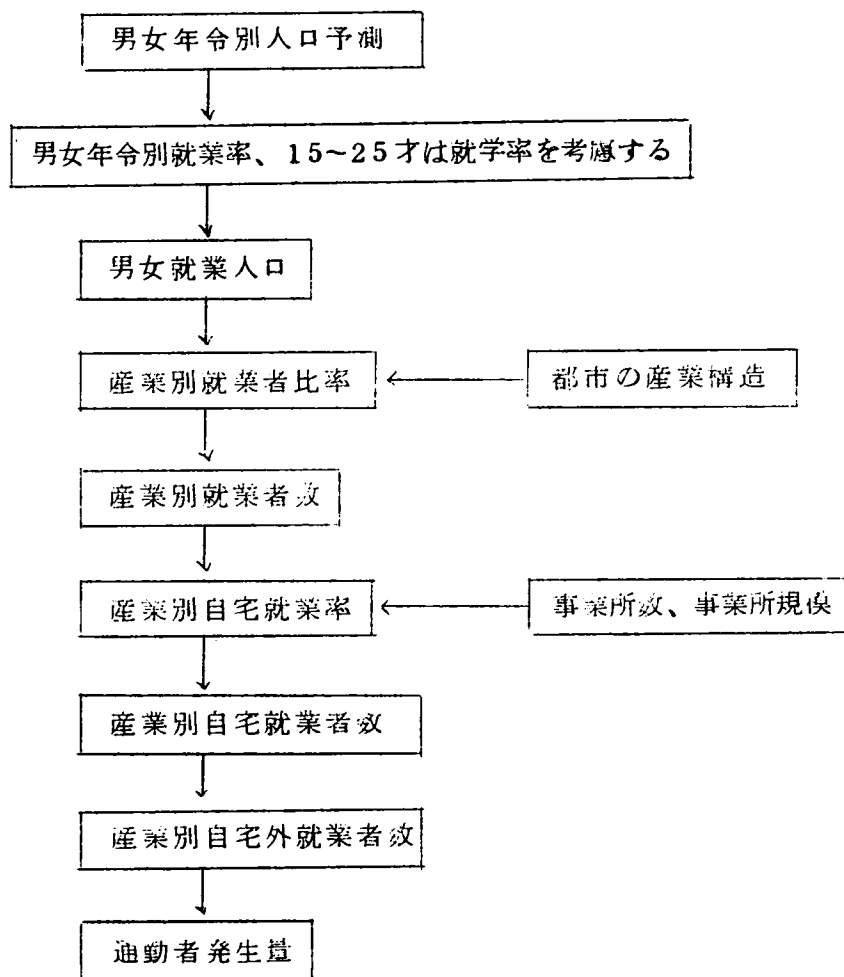
2、3次産業従業者数は、国民総生産およびその他の経済指標などから産業別年間生産額を予測し、労働生産性を考慮して産業別従業者数を推定する。これから産業別自宅従業者数を除けば通勤者集中量が得られる。この方法の詳細は、本章§3(2)で示す。

通学者集中量は、都市圏人口から予測された通学発生量を収容するだけの施設が造られると考えると、総数は発生量から得られる。都市内で



の分布状況は、現在存在する学校がそのまま存続し、新設がほとんどないと考えると、総集中量を現在の学生数の比率で配分することによって求めることができる。

図 3 - 2 - 1 通勤者発生量の予測方法のフローチャート



### § 3 都市の発生・集中交通量

ここでは、一つの都市全体の通勤・通学者の発生・集中量について考察する。旅客の発生、集中量を推定する方法に、原単位法と関数モデル法と発生機構による方法の三つがあることを述べたが、ここでは、原単位法と発生機構による方法について検討する。

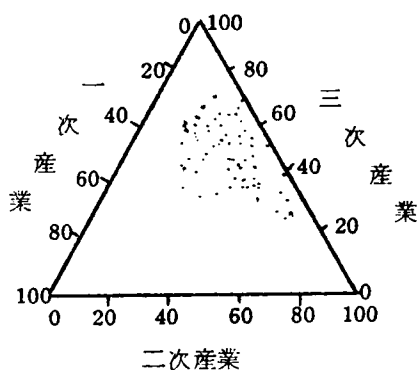
#### 1 都市の発生・集中原単位<sup>2)</sup>

通勤・通学者の発生・集中量を説明する指標として、その発生・集中機構を考慮すると、発生量については人口、世帯数などが、また集中量については人口、床面積などが考えられる。ここでは、資料の得易い人口、世帯数を指標として採用し、わが国の昭和35年の国勢調査結果<sup>3)</sup>を用いて各都市の原単位を算出してみた。人口10万人以上の全都市をとりあげ、それらを人口規模により、人口10～20万人(69都市)、20～30万人(21都市)、30万人以上(21都市)の三つに分類し、都市人口規模と発生・集中原単位の関係も考察した。国勢調査の報告書には、通勤・通学者そのものは統計資料としてとられていないので、ここでは15才以上の就業者および通学者を通勤・通学者と考えた。就業者のうちには自宅で従業する者あるいは職場が自宅の近くにあり、いわゆる通勤交通と見なすことのできない場合もある。しかし、通勤交通現象を広義に解釈すると、自宅就業者は偶然通勤先と居住地が一致し、通勤距離が0になったに過ぎないと考えることができるので、ここでは就業者と通学者の和を通勤・通学者と見なす。したがって、実際の通勤者数を推定するためには、自宅就業者数を除く必要がある。

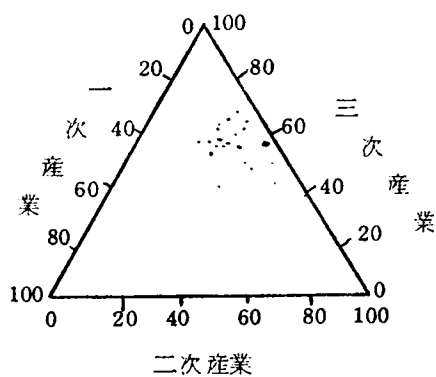
また都市の性格を知るために、その都市で従業している者の1、2、3次産業別比率を調べ図3-3-1に三角座標で表わしてみた。これによると、人口10～30万人の都市では1次産業従業者の比率が相当大きい、人口が増加するにしたがって小さくなり、50万人以上の都市ではほとんど2、3次産業従業者で占められる。そして一般に川崎市のような工業都市のほかは2次より3次産業従業者の方が多くなっている。

図 3 - 3 - 1 都市の産業別従業者の割合 (%)

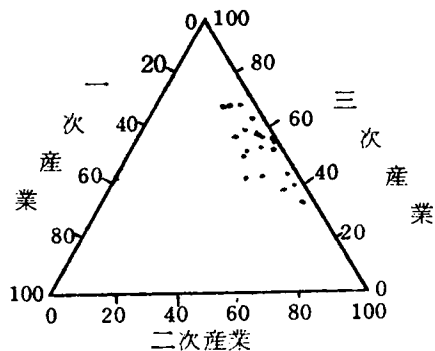
(a) 人口 10 ～ 20 万人の都市



(b) 20 ～ 30 万人の都市



(c) 30 万人以上の都市



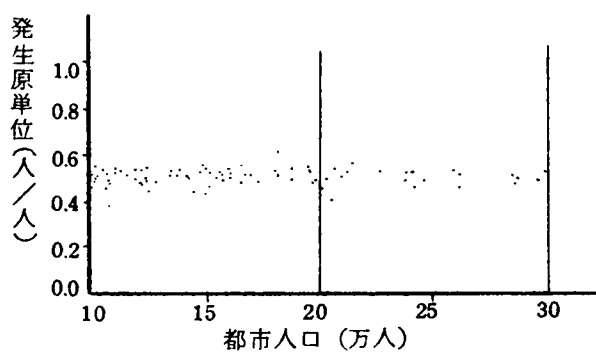
## (1) 発生原単位

ある都市から発生する、すなわちそこに居住する通勤・通学者数と人口、世帯数などの関係を都市規模別に検討し、それぞれに対する発生原単位を求めてみた。都市の人口規模と人口を単位とした発生原単位（人口1人当たりの通勤・通学者の発生率）の関係を図示すると図3-3-2(a)、(b)のようになる。これによると人口を単位とする発生原単位の平均値は、人口規模10～20万人で0.499人/人、20～30万人で0.487人/人、30万人以上で0.503人/人で、いずれも平均値のまわりの分散は小さいことがわかる。ここでとりあげた全都市についての平均値は0.497人/人で、発生原単位は傾向として人口規模が大きくなるにしたがってわずかながら大きくなっているが、大局的にみると、人口規模と無関係にほぼ一定であることがわかる。したがって都市および人口規模による変動が小さい原単位が得られたわけである。この図において、発生原単位が特に大きいのは、一宮、大垣、松本、豊橋などで、いずれも繊維関係の産業がさかんで女子就業率の高い都市である。逆に小さいのは夕張、大牟田などで、いずれも石炭産業の都市であるのは興味深い。

つぎに通勤・通学者の発生量と世帯数との関係を調査し、これに対する発生原単位を求めたものが図3-3-3(a)、(b)（横軸は都市人口）である。この場合、発生原単位の平均値は、人口規模10～20万人で2.21人/世帯、20～30万人で2.07人/世帯、30万人以上で2.09人/世帯で、各平均値に対する分散は小さいことがわかる。また全都市についての平均値は2.16人/世帯であるから都市および人口規模による変動は小さいことがわかる。世帯数を単位とした発生原単位は、人口を単位とした場合とは逆に、人口規模が大きくなるに従ってわずかながら小さくなる傾向がある。これは大都市ほど世帯構成人員が小さくなっていることに起因すると考えられる。世帯を単位とした原単位が特に大きいのは一宮、大垣、豊橋、川越、岡崎、山形、長岡、浜松で東海地方の都市が多く、小さいのは夕張、大牟田、鹿児島である。

図 3 - 3 - 2 通勤・通学者発生原単位

(a) 都市人口 10 ～ 30 万人



(b) 都市人口 30 万人以上

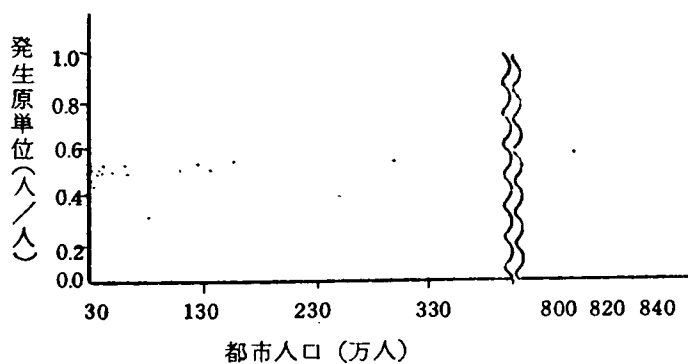
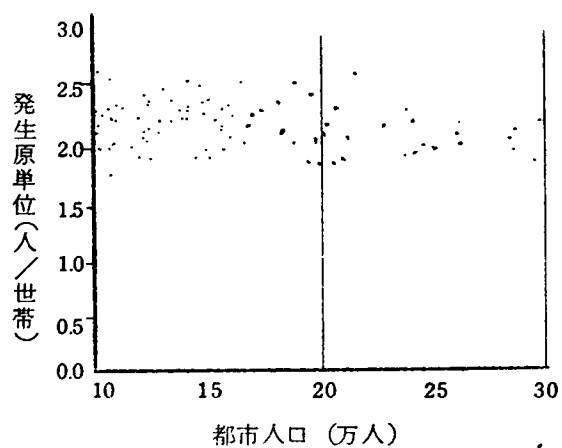
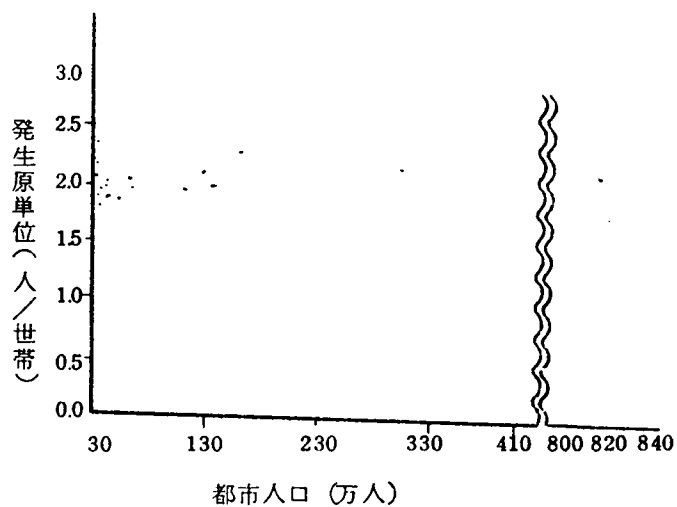


图 3-3-3 通勤・通学者発生原单位

(a) 都市人口 10~30万人



(b) 都市人口 30万人以上



さらに、原単位の時間の経過に対する安定性を検討するために、7大都市の昭和40年の人口を単位とする通勤・通学者発生原単位を求めてみたら、表3-3-1のようになった<sup>4)</sup>。これによると、7大都市ではすべて昭和35年に比べて原単位の値が7~11%増加している。この原単位は都市住民が通勤・通学者である比率（確率）を表わしているので、都市の現状を見れば、これ以上大きくなる可能性は小さいといえよう。したがって、この原単位は、時間の経過に対して安定したものとなるであろう。

表3-3-1 発生・集中原単位（昭和40年）（ $\frac{人}{人}$ ）

	発生原単位	対35年比	集中原単位	対35年比
東京都区部	0.6038	1.09	0.7328	1.15
横浜市	0.5470	1.10	0.4841	1.05
名古屋市	0.5750	1.07	0.6832	1.09
京都市	0.5855	1.11	0.6203	1.15
大阪市	0.5757	1.10	0.7995	1.17
神戸市	0.5402	1.09	0.5556	1.09
北九州市	0.4983		0.5433	

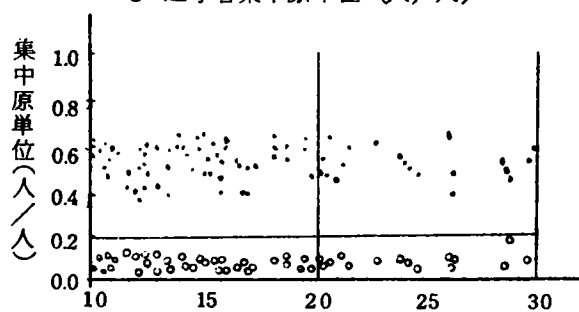
## (2) 集中原単位

ある都市に集中する通勤・通学者はその都市に通勤・通学先を有する人で、都市では一般に夜間より昼間の人口が多いことからわかるように、通勤・通学者の発生量より集中量のほうが多い。通勤・通学者集中量も原単位法により推定できるので、人口を単位とする集中原単位を都市の人口規模別に求めてみた。この結果を図3-3-4(a)、(b)に示した。これによると原単位の平均値は都市の人口規模が10~20万人で0.509人/人、20~30万人で0.512人/人、30万人以上で0.544人/人で、それぞれの分散はそれほど大きくない。この原単位は、

图 3-3-4 通勤・通学者集中原单位

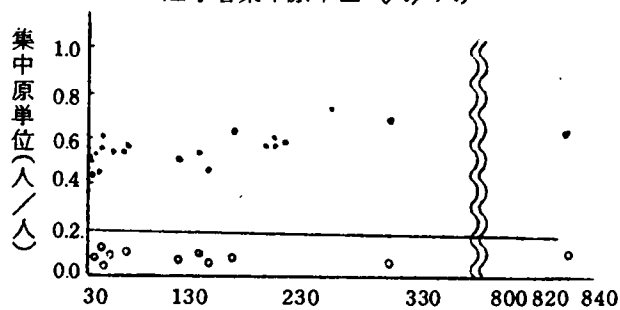
(a) 都市人口 10 ~ 30 万人

- 通勤・通学者集中原单位 (人/人)
- 通学者集中原单位 (人/人)



(b) 都市人口 30 万人以上

- 通勤・通学者集中原单位 (人/人)
- 通学者集中原单位 (人/人)





人口10~30万人の都市では人口の大きさに無関係にほぼ一定であることがわかる。30万人以上の都市でも人口の大きさによる変動は小さいが、傾向として人口規模が大きくなるにしたがって原単位も大きくなっている。集中原単位が特に大きいのは、大阪、東京都（区部）、名古屋などの大都市のほか岡山、富山、福井、松本、水戸などである。逆に特に小さいのは豊中、八尾、守口、西宮、市川でいずれも大阪および東京の衛星都市で、住宅都市の性格を有するものばかりである。

ここでは集中量を通勤と通学を合計したものとして検討したが、これを分離し、通学者について図示すると図3-3-4(a)、(b)の○のようになり、その集中原単位は人口の大きさに無関係にほぼ一定なので結局、通勤・通学者の原単位の変動は通勤者の変動によってもたらされていることがわかる。

以上のほか、集中原単位の単位として床面積、年間商品販売額、製造業年間出荷額などが考えられるが、これらのみであらゆる分野の通勤、通学者数を推定することは人口による場合より困難であろう。また、床面積はその資料を得ることがむずかしい。

図3-3-1(a)、(b)、(c)に示した各都市での従業者の産業別比率と発生・集中原単位の相関関係はほとんど認められない。原単位への影響力は、この比率よりむしろその都市の主要産業の業種などのほうが強いようである。集中原単位の大きい東京都、大阪、名古屋の産業別従業比率がほぼ等しいが、この比率と原単位の大きさが相関をもつとは断言できない。

つぎに、昭和40年の7大都市における人口を単位とする集中原単位を求めてみると、表3-3-1のようになった。これによると、発生原単位と同様に集中原単位も昭和35年に比べて、すべて5~17%増加している。この原単位は、産業活動の集中現象の著しい大都市では、当然増加するものであり、今後もこの傾向は続くものと考えられる。したがって、集中原単位の時間の経過に対する安定性は、発生原単位のそれより悪い。

また自宅就業者数については次の2に示す。

参考として人口10万人以上の都市における通勤・通学の人口を単位とした発生・集中原単位を付表3-3-1に示しておいた。

## 2 輸送需要の発生機構による方法

本章§2.2に示した通勤・通学者の発生・集中量の予測過程を数式を用いて表わすと以下のようになる。

### (1) 通勤者発生量

ある都市の $t$ 年度の男女年令別人口 $P(x, t)$ が既知の場合について考える。ここに、 $x$ は年令グループを表わし、1～5才を単位とする。

いま、 $t$ 年度の年令グループ $x$ の男女人口を $P_m(x, t)$ 、 $P_w(x, t)$ とし、それぞれの就業率を $a_m(x, t)$ 、 $a_w(x, t)$ 、男女就業者が産業 $i$ に従事している比率を $r_{m,i}(x, t)$ 、 $r_{w,i}(x, t)$ とすると、産業別就業者数は次式より求められる。なお産業の分類は国勢調査の大分類に従うものとする。

$$\text{産業 } i \text{ の男子就業者数} = \sum_x P_m(x, t) a_m(x, t) r_{m,i}(x, t)$$

$$\text{産業 } i \text{ の女子就業者数} = \sum_x P_w(x, t) a_w(x, t) r_{w,i}(x, t)$$

$$\text{ここに、} \sum_i r_{m,i}(x, t) = 1$$

年令別就業率 $a(x, t)$ と産業別就業率 $r_i(x, t)$ の実例として、京都市と名古屋市の昭和35年と40年の値を示すと付図3-3-1、2のようである。

ところで、将来予測においては、 $a(x, t)$ 、 $r_i(x, t)$ の分布を予測しなければならない。 $a(x, t)$ はあまり変化しないと考えられる。

$r_i(x, t)$ については、現在の就業者が自分の就業する産業を変える人があまりいないと考えられる場合は、現在の分布関数を将来時点へ平行移動し、今後就職する人については、はっきりした傾向がつかめる場合はそれを用い、そうでなければ現在の割合で各産業に分布すると考える。すなわち、 $x$ を年令、 $n$ を正整数とすると、一般に

$r_i(x, t) \doteq r_i(x+n, t+n)$ という関係を保つと考えられる。また、新規学卒就職者は、直前すなわち  $x=15\sim19, 20\sim24$  の  $r_i(x, t)$  の

影響を強く受けると考えられる。なお、小売業は他と異なり、高年令になっても退職しない場合が多いので、高年令になるほど  $r_i(x, t)$  が大きくなる傾向がある。

予測した  $r_i(x, t)$  が  $\sum_i r_i(x, t) = 1$  を満足しない場合は、過不足分を  $\Delta r$  とすると

$$r_i(x, t) \left\{ 1 - \frac{\Delta r}{\sum_i r_i(x, t)} \right\}$$

を最終調査値とする。

そして、男女産業別自宅就業者数は、就業者数の中で自宅就業者数の占める比率男  $g_{m,i}(t)$ 、女  $g_{w,i}(t)$  を用いると、次式から求められる。

産業別自宅就業者数

$$\text{男} \quad \left\{ \sum_x P_m(x, t) a_m(x, t) r_{m,i}(x, t) \right\} g_{m,i}(t)$$

$$\text{女} \quad \left\{ \sum_x P_w(x, t) a_w(x, t) r_{w,i}(x, t) \right\} g_{w,i}(t)$$

したがって、通勤者発生量は

$$\sum_i \left[ \sum_x \left\{ P_m(x, t) r_{m,i}(x, t) \{ 1 - g_{m,i}(t) \} \right. \right. \\ \left. \left. + P_w(x, t) r_{w,i}(x, t) \{ 1 - g_{w,i}(t) \} \right\} \right]$$

で与えられる。

自宅就業者率  $g_i(t)$  の実例として、昭和35年の京都市、名古屋市、全国および市部の男女別比率を示したのが付図3-3-3である。都市の特徴が現われている面もあるが、同一産業ではほぼ似た比率を示している。

## (2) 通学者発生量

年令グループ  $x$  の  $t$  年度の男女別就学率を  $q_m(x, t)$ 、 $q_w(x, t)$  とすると、通学者発生量は次式で与えられる。

$$\text{男} \quad P_m(x, t) q_m(x, t)$$

$$\text{女} \quad P_w(x, t) \cdot q_w(x, t)$$

就学率の例として、名古屋市の昭和35年の  $q_m(x, t)$  と  $q_w(x, t)$  を付表3-3-2に示す。

### (3) 通勤者集中量

産業別に従業者数を推定し、これから自宅就業者を除けば通勤者集中量を得ることができる。将来の従業者数の予測は、それぞれの産業の特性を考慮して次のように行なう。

#### a. 2次産業従業者数

その都市の2次産業生産額の国民総生産中に占める割合の予測値や工業用地存在量などから将来時点  $t$  の2次産業の生産額  $O(t)$  を予測する。そして2次産業従業者1人当り年間生産額すなわち労働生産性を  $C(t)$  とすると、2次産業従業者数  $W_1(t)$  は次式で与えられる。

$$W_1(t) = \frac{O(t)}{C(t)}$$

$C(t)$  の実例として名古屋市の値を付図3-3-4に示した。

#### b. 3次産業従業者数

3次産業は業種により従業者数を決定する要因が異なるので、次のようにして業種別に予測する。

##### b-1、卸売業

$t$  年度の卸売販売額  $S(t)$  を工業生産額、国民総生産などから予測し、別に卸売業従業者1人当りの年間販売額  $C_1(t)$  を予測すれば、従業者数  $W_2(t)$  は次式で与えられる。

$$W_2(t) = \frac{S(t)}{C_1(t)}$$

##### b-2、小売業

都市の小売販売額  $B(t)$  は都市圏人口、全従業者数  $W(t)$  と関係があるので、これらから  $B(t)$  を、別に小売業者1人当り販売額  $C_2(t)$  を予測すれば、小売従業者数  $W_3(t)$  は次式で与えられる。

$$W_3(t) = \frac{B(t)}{C_2(t)}$$

b-3、金融、保険、不動産、運輸、通信、電気、ガス、水道業

これら各産業の従業者数  $W_4(t)$  は 2 次産業生産額、卸売販売額、小売販売額、その他の 3 次産業の売上額  $D(t)$  の関数と考えられる。

$$W_4(t) = f \{ O(t), S(t), B(t), D(t) \}$$

関数  $f$  の形は、実績資料を用いて決定する。

b-4、サービス業

サービス業従業者数  $W_5(t)$  は人口との相関関係が強いと考えられるので、人口  $P(t)$  1 人当りのサービス業従業者数  $l(t)$  を予測し次式によって求める。

$$W_5(t) = l(t) P(t)$$

b-5、公務員

公務員数  $W_6(t)$  は、その都市の性格によって異なる面もあるが、一般に、人口と密接な関係にあると考えられる。いま人口 1 人当りの公務員数を  $h(t)$  とすると、 $W_6(t)$  は次式で与えられる。

$$W_6(t) = h(t) P(t)$$

以上より全従業者数  $W(t)$  は  $\sum_j W_j(t)$  で与えられ、通勤者集中量はこれから自宅就業者数を除けば求められる。すなわち

$$W(t) = \sum_j W_j(t) - \sum_i \left[ \sum_x \left\{ P_m(x, t) a_m(x, t) r_{m,i}(x, t) g_{m,i}(t) + P_w(x, t) a_w(x, t) r_{w,i}(x, t) g_{w,i}(t) \right\} \right]$$

(4) 通学者集中量

通学者発生量を取り容するだけの教育施設を造ると仮定すると、これが集中量を与えることになる。

#### § 4 用途地域別発生・集中交通量

本節では、用途地域の通勤・通学者発生・集中交通量について検討する。用途地域ごとに発生・集中量を測定した資料はきわめて少ない。ここでは、京都市と名古屋市の資料について検討する。用途地域別には、人口、従業者数などの資料がほとんどなく、輸送需要発生機構によって交通量を予測することはむづかしいので、主に原単位法と関数モデル法を用いる。

##### 1 京都市における分析<sup>5)</sup>

京都市の通勤・通学者発生・集中交通量の資料は、小学校の学区を対象として、鉄道、路面電車、バスなどの大量輸送機関を利用する通勤・通学者の動態を集計したものである<sup>6)</sup>。すなわち、昭和35年6月7日午前7～9時の、市電、市バス、国鉄、私鉄などの旅客数を小学校の元学区（京都市では統計資料の基準とする学区をこう名付けている）単位に集計したものである。この時間帯の大量輸送機関の旅客はほとんど通勤・通学客であり、またラッシュ時で旅客輸送量も最大となるので、このときの旅客について分析が行なわれれば、将来の輸送計画の指針となる。このデータが通勤・通学者の何パーセントをとらえているかを当日の終日交通調査結果からみると、約90%で、残りはこれ以外の時間に通勤・通学したことがわかる<sup>\*</sup>。したがって、このデータが京都市の通勤・通学者の動態を表わしていると見なして分析しても大きな間違いはない。

そして、土地利用が通勤・通学交通の発生・集中におよぼす影響を調べるために学区を、その地域の用途（機能）によって業務、工業、住宅、業務・住宅混合、業務・工業混合、工業・住宅混合、業務・工業・住宅混合の7地域に分類した。この分類は参考文献7)によったもので、各地域の分類に用いた指標はつぎのものである。業務地域は第3次産業従業者密度と第3次産業事業所密度により、工業地域は第2次産業従業者密度、工場密

---

※ 7～9時の旅客をすべて通勤・通学客と考えた。定期客はすべて通勤・通学と考え、定期客の90%が7～9時に乗車しているので、定期券を持たないで通勤・通学している人のこの時間に乗車する比率もこれと同比率であろうと考えた。

度、出荷額密度により、住宅地域は住宅密度、宅地率により分析し、いずれもこれらの指標の京都市の平均値を基準にし、学区の機能を決定している。

つぎに各用途地域の世帯構造の特徴を知るために、世帯をサラリーマン（勤め人、労務者）、商業（商業、サービス業、自由業）、工業（農業、鉱業、建設業、製造業）の3種世帯に分類し、その比率（％）を用途地域別に三角座標に表わすと付図3-4-1(a)、(b)、(c)、(d)、(e)、(f)、(g)のようになる。<sup>8)</sup>これによると業務地域は工業世帯が少なく、商業世帯とサラリーマン世帯の比率がほぼ等しく、住宅地域と工業地域の世帯構造はほぼ等しいことがわかる。

#### (1) 発生量

ある学区から、通勤・通学者が発生するのは、そこに彼らが住んでいるからで、旅客発生之母体はその学区の住人である。そこで学区の旅客発生量を説明する指標として、人口、生産年齢人口（15～64才）、自宅外従業者数、世帯数、業種別世帯数などを用いて、これらと通勤・通学者の発生量との関係の分析を試みた。ここでは発生量が、上記指標の一次式（ $Y = a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_mX_m + a_{m+1}$ 、 $Y$ ：発生量、 $X_i$ ：指標、 $a_i$ ：定数）で表わされるものと仮定し、用途地域別に実測の資料を用いて最小自乗法により係数 $a_i$ の値を決定した。各指標に対する発生量の回帰直線（平面）とそのときの相関係数を表3-4-1に示す。この表によると、相関係数はいずれもあまり大きくないが、これらのうちでは業種別世帯数による回帰平面が最もよく適合している。しかし、この業種別世帯数に対する回帰平面において、工業、工業・住宅混合、業務・工業・住宅混合の各地域では係数の値が負になっており、通勤・通学者の発生機構と矛盾するので、この方程式で将来の旅客発生量を予測するのは適当でない。

この業種別世帯数以外では、人口との相関が最もよい。（しかし、業務・住宅、業務・工業、業務・工業・住宅各混合地域の発生量の人口に対する相関係数は小さく、0.55～0.39である）。用途地域ごとに人口と発生量の関係を付図3-4-2(a)、(b)、(c)、(d)、(e)、(f)、(g)に示す。

表3-4-1 通勤・通学者発生量Yと諸指標Xとの関係 (京都市、昭、35)

用途地域	生産年齢人口X		人口X		自宅外従業者数X	
	回帰方程式	相関係数	回帰方程式	相関係数	回帰方程式	相関係数
業務地域	$Y=0.301X-370$	0.722	$Y=0.217X-351$	0.741	$Y=0.566X+119$	0.635
工業	$Y=0.215X-377$	0.907	$Y=0.147X-357$	0.885	$Y=0.328X+75$	0.869
住宅	$Y=0.181X-10$	0.667	$Y=0.139X-104$	0.700	$Y=0.386X+114$	0.626
業務・住宅混合地域	$Y=0.120X+235$	0.528	$Y=0.090X+197$	0.554	$Y=0.242X+371$	0.469
業務・工業混合	$Y=0.130X+49$	0.389	$Y=0.093X+51$	0.393	$Y=0.256X+292$	0.340
工業・住宅混合	$Y=0.159X+173$	0.728	$Y=0.112X+165$	0.729	$Y=0.330X+326$	0.681
業務・工業・住宅混合	$Y=0.084X+582$	0.425	$Y=0.063X+542$	0.451	$Y=0.173X+728$	0.362

用途地域	世帯数X		工業世帯数X <sub>1</sub> 、商業世帯数X <sub>2</sub> 、サラリーマン世帯数X <sub>3</sub>	
	回帰方程式	相関係数	回帰方程式	重相関係数
業務地域	$Y=0.662X-59$	0.625	$Y=3.359X_1+0.462X_2+0.810X_3-138$	0.704
工業	$Y=0.601X-284$	0.852	$Y=2.177X_1+0.677X_2+0.885X_3-406$	0.915
住宅	$Y=0.398X+197$	0.616	$Y=2.205X_1+0.702X_2+0.315X_3+5$	0.644
業務・住宅混合地域	$Y=0.277X+335$	0.486	$Y=0.994X_1+0.964X_2+0.088X_3+131$	0.904
業務・工業混合	$Y=0.351X+137$	0.360	$Y=0.499X_1+1.061X_2+0.109X_3-67$	0.410
工業・住宅混合	$Y=0.450X+190$	0.745	$Y=-0.271X_1-0.194X_2+0.823X_3+173$	0.801
業務・工業・住宅混合	$Y=0.190X+744$	0.338	$Y=0.351X_1+1.984X_2-0.356X_3+261$	0.617



通勤・通学者の発生母体は15～64才の生産年齢人口であるので、これとの相関関係が最も強いはずだが、分析結果によると総体的にわずかながら人口との相関の方が強いようである。しかしその差はきわめて小さい。ちなみに生産年齢人口と人口の相関を調べると、どの用途地域でも相関係数が0.99～1.00であるから、相関の点からはいずれを発生量の説明量として用いてもよいといえるが、統計資料の得やすさ、将来予測の容易さなどの点から人口の方が適当であると考えられる。

また発生量と自宅外従業者数の相関が予想外に小さいのは、ここにいる発生旅客は通勤と通学の二者からなりこのうち通学が比較的多いのと、自宅外従業者の大量輸送機関利用率も学区により変動するからであろう。

用途地域別に人口を単位とする発生原単位の平均値を求めてみたら、表3-4-2のような値になった。この値は業務、住宅、工業・住宅混合、業務・住宅混合、業務・工業・住宅混合、工業、業務・工業混合の地域順に小さくなっている。

表3-4-2 用途地域の原単位 (京都市 昭、35)

用 途 地 域	発生原単位 (人/人)	集中原単位 (人/人)
業 務 地 域	0.152	0.285
工 業 "	0.110	0.239
住 宅 "	0.129	0.307
業務・住宅混合地域	0.117	0.213
業務・工業混合 "	0.103	0.225
工業・住宅混合 "	0.127	0.237
業務・工業・住宅混合 "	0.112	0.160

## (2) 集 中 量

ある地区に通勤、通学者が集中するのはそこに通勤、通学先があるからで、その集中量を説明する指標としては、そこで従業する従業者数と

## 3-21

就学する学生数の合計、工業従業者数、商業従業者数などが考えられる。これらの資料を用いて用途地域別に相関分析を行ない、表3-4-3のような結果（回帰直線（平面）と相関係数）を得た。ここで、学生数としては公立中学校を除いた中学校以上の学生数を用いた。これによると各用途地域とも従業者数と学生数の和に対する相関係数が工業従業者数と商業従業者数の両者に対する重相関係数より大きいことがわかった。前者は業務・工業・住宅混合地域における値が0.35で特に小さいほかはいずれも0.72以上である。

また用途地域とは無関係に学校（私立中学校、高等学校、大学）のある学区ばかりを採り出して集中量の従業者と学生の和に対する相関係数を調べたら0.82で比較的大きく、用途地域には無関係に学校の存在による集中量が相当あることが予想できる。

集中量の工業、商業各従業者に対する重相関がよくないのは、集中量には学生が含まれているのと、工業、商業各従業者の大量輸送機関利用率が学区により変動するためと考えられる。

いま集中量と、従業者数と学生数の和との関係を示すと付図3-4-3(a)、(b)、(c)、(d)、(e)、(f)、(g)のようになる。

表3-4-3 通勤、通学者集中量 Y と諸指標 X との関係（京都市、昭、35）

用 途 地 域	(従業者数+学生数) X (人)		工業従業者数 $X_1$ , 商業従業者数 $X_2$ (人)	
	回 帰 方 程 式	相 関 係 数	回 帰 方 程 式	重 相 関 係 数
業 務 地 域	$Y=0.306X-119$	0.723	$Y=1.745X_1+0.246X_2+753$	0.458
工 業       "	$Y=0.219X+123$	0.772	$Y=0.313X_1+1.595X_2+234$	0.673
住 宅       "	$Y=0.280X+114$	0.877	$Y=0.382X_1+1.740X_2+749$	0.371
業務・住宅混合地域	$Y=0.154X+245$	0.788	$Y=-1.589X_1+0.988X_2+1116$	0.311
業務・工業混合 "	$Y=0.290X-309$	0.899	$Y=0.257X_1+0.598X_2+39$	0.806
工業・住宅混合 "	$Y=0.217X-123$	0.911	$Y=0.192X_1+1.504X_2+607$	0.197
業務・工業・住宅 混合地域	$Y=0.063X-442$	0.352	$Y=-0.004X_1+0.463X_2+487$	0.330

そして用途地域ごとに集中量の従業者と学生数の和に対する原単位の平均値を求めると表3-4-2のようになる。集中原単位は住宅、業務工業、工業・住宅混合、業務・工業混合、業務・住宅混合、業務・工業・住宅混合の地域順に小さくなっている。住宅地域の値が最大であるのは、学校、病院などの施設が多く、自宅従業が少ないためと考えられる。

## 2 名古屋市における分析

名古屋市では、14行政区をそれぞれ3～5分割して48地区に分けている。名古屋市計画局の昭和40年自動OD調査の際の地区分割を利用した。これは関連資料が得易いことを考慮したからである。資料は、昭和40年大都市交通センサスの定期券利用者OD表（名古屋市交通局調査）のうちの市電、市バスの定期券OD表<sup>9)</sup>を基にして、調査表回収率、通勤・通学者の定期券利用率などを考慮して集計したものである。これには、国鉄、私鉄、地下鉄だけの利用者は含まれていないが、市内からの発生量に関する限り、こういう人は少ないと考えられるので、大きな誤差はないといえよう。しかし、集中量においては、名古屋市の現状からみて、国鉄、私鉄、地下鉄の駅を含む地区で、ある程度の誤差はまぬがれないであろう。また、各地区の土地利用の用途種別は、その地区における商業、工業、住宅などの用途面積の割合と現状とを考慮して決定した。

### (1) 発生量

京都市の分析結果より、通勤・通学者発生量を説明する指標としては、居住人口が優れていることがわかっているのと、資料も人口、世帯数<sup>10)</sup>、土地利用別面積しかないのので、ここでは人口に対する発生原単位を求めてみた。商業、工業、住宅地域などの土地利用別面積の資料を用いて、関数モデルを決定することも考えられるが、同じ土地利用でもその利用度の差が大きく、この影響が予測の精度を落とすと考えられるので採用しなかった。

用途地域別の発生原単位の平均値を表3-4-4に示す。

表3-4-4によると、発生原単位は、工業地域が最大で、商業、住居、農林、住居地域の順に小さくなっている。農林、住居地域の値が小さいのは、主に都市周辺部にあり、通勤に関係の少ない農家があるのと、

表3-4-4 発生・集中原単位 (名古屋市、昭、40)

用途地域	発生原単位(人/人)	集中原単位(人/人)
商業地域	0.2327	0.489
工業 "	0.2382	0.389
住居 "	0.2233	0.420
農林住居 "	0.1896	0.376

市電、市バスの路線も少ないので、これらの利用度も低いためと考えられる。商業、工業、住居の各地域の原単位はほぼ等しく、市街地では土地利用の相違による原単位の差があまりないことがわかる。

これらの発生原単位を京都市の値と比べると、各地域で1.5～2.2倍になっている。これは、京都市の値は昭和35年のもので、名古屋市の値は40年のものであることと、両都市住民の交通機関利用傾向の差および高等学校の学区制の違い、都市施設の分散状況の差などによるものと考えられる。

## (2) 集中量

京都市と同様に、その地区の職場で働いている従業者と学校（高校以上）に在学している学生数の和に対する通勤・通学集中原単位を求めると、表3-4-4のようになった。これらを、京都市の値と比べると、各地域で1.3～1.7倍になっているが、これは発生原単位と同じ理由によるものと考えられる。

## §5 結 語

本章では、ある地域における通勤・通学交通の発生・集中量を予測する方法について検討した。予測方法は原単位法を含む関数モデル法と輸送需要発生機構による方法の二つに大別できる。前者のうちの原単位法は簡便性において優れており、実用的価値が高く、後者は予測方法の合理性において優れている。これらの点と資料収集の難易度を考慮して、採用する予測方法を決

定すべきである。

本章では、都市全体の発生・集中量は原単位法と輸送需要の発生機構による方法を用いることを前提として、人口を単位とする発生・集中原単位と輸送需要の発生・集中機構の分析例を示し、原単位については時間の経過に対する安定性をも検討した。

つぎに、用途地域別の発生・集中交通量の予測では、関数モデル法を用いることを前提として、京都市については原単位と関数モデルの、名古屋市については原単位の事例を示した。発生原単位は人口を、集中原単位は従業員数と学生数の和をそれぞれ単位とするのが適当であると考えられる。

なお予測精度の点では、輸送需要の発生機構によって発生・集中量を予測するのが望ましいので、今後は輸送需要の発生機構の詳細な分析と基礎資料の集積により、よりよい予測モデルを開発する必要がある。

## 参 考 文 献

- 1) 米谷栄二, 渡辺新三, 毛利正光: 交通工学, 国民科学社, pp. 175~177, 昭和40年3月。
- 2) 河上省吾: 通勤, 通学輸送需要の予測について, 土木学会論文集第145号, pp. 33~46, 昭和42年9月。
- 3) 総埋府統計局: 全国都道府県市区町村人口総覧その1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 (昭和35年度)。
- 4) 名古屋市: 名古屋市の昼間人口, 昭和43年10月。
- 5) 前掲 2) に同じ。
- 6) 京都市交通局: 昭和35年6月7日実施した交通量調査の概要。
- 7) 京都市統計解析センター: 京都市の機能地域, 昭和40年5月。
- 8) 京都市行政局統計課: 京都市元学区別統計要覧1962, 昭和37年4月。
- 9) 名古屋市交通局: 昭和40年大都市交通センサスからの定期券利用者OD表。
- 10) 名古屋市: 名古屋市の人口, 昭和42年12月。
- 11) 京都市計画局: 計量分析, 昭和41年4月。
- 12) 米谷栄二, 明神 証, 溝畑靖雄: 交通需要発生 of 地域原単位, 土木学会誌, 51巻6号 1966。
- 13) B. V. Martin, F. W. Memmott ■ and A. J. Bone : Principles and Techniques of Predicting Future Demand for Urban Area Transportation, M. I. T. Report №8, pp. 107~114, 1966。
- 14) H. J. Wootton and G. W. Pick : Travel Estimates from Census Data, Traffic Engineering & Control, pp. 142~145, July 1967。
- 15) K. R. Overgaard 著, 佐佐木綱訳: 都市運輸計画における交通量推定, 都市交通研究所, 昭和43年2月。
- 16) 神田九思男: 道路網計画に関する車種構成論的研究, 昭和42年4月。
- 17) 名古屋市: 名古屋市統計年鑑 1962, 昭和38年3月。

## 第4章 地区間交通量の予測

### §1 概 説

本章では、各地区間の通勤交通量分布が将来どのようなようになるかを予測する方法について考察する。地区間交通量を表で示したものをOD表と称し、交通計画においては、欠くことのできない資料である。地区間交通の実状を、その出発地と目的地を中心に調査することをOD調査とよび、このOD調査結果を用いて将来の地区間交通量（OD交通量）を予測する。

OD交通量の予測方法には、対象地区の交通量の発生・集中に関係する経済指標などから、直接OD交通量を予測する方法（3段階推定法）と、まず対象地区の発生・集中交通量を予測し、これを用いてOD交通量を予測する方法（4段階推定法）の二つがあるが、<sup>D</sup>ここでは、現在多く用いられている後者について検討する。したがって、ここでいうOD交通量の予測とは、与えられた発生・集中交通量を用いて、地区間交通量を予測することである。

本章では、これまでに開発されたOD交通量（分布交通量ともいう）の予測モデルの概略と利害得失について述べ、つぎに、地区間の交通上の結びつきの強さを表わす地域間結合度を定義し、これを用いて予測モデル式の構造を比較検討する。

さらに著者の考案したOD交通量予測モデルを提案し、これと従来モデルのいくつかについて、京都市、名古屋市、大阪市の通勤および通勤・通学交通の観測資料を用いて、その予測精度を比較検討する。そして、これらの結果を用いて各予測モデルの構造上の特徴を明らかにする。

### §2 従来の予測モデルとその特徴 2)、3)、4)

まず、ここで用いる記号を表4-2-1(a)、(b)にOD表の形式で示しておく。

OD交通量の予測とは、発生・集中交通量  $X_i$ ,  $Y_j$  が与られたとき、分布交通量  $x_{ij}$  の推定値  $x_{ij}'$  を求めることである。OD交通量予測のために数多く

表 4-2-1(a) 現在の OD 表

O \ D	1	2	.....	j	.....	n	計
1	$t_{11}$	$t_{12}$	-----	$t_{1j}$	-----	$t_{1n}$	$T_1$
2	$t_{21}$	$t_{22}$	-----	$t_{2j}$	-----	$t_{2n}$	$T_2$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
i	$t_{i1}$	$t_{i2}$	-----	$t_{ij}$	-----	$t_{in}$	$T_i$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
n	$t_{n1}$	$t_{n2}$	-----	$t_{nj}$	-----	$t_{nn}$	$T_n$
計	$U_1$	$U_2$	-----	$U_j$	-----	$U_n$	$T$

$$(X_i - T_i = \Delta T_i, Y_j - U_j = \Delta U_j)$$

表 4-2-1(b) 将来の OD 表

O \ D	1	2	.....	j	.....	n	計
1	$x_{11}$	$x_{12}$	-----	$x_{1j}$	-----	$x_{1n}$	$X_1$
2	$x_{21}$	$x_{22}$	-----	$x_{2j}$	-----	$x_{2n}$	$X_2$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
i	$x_{i1}$	$x_{i2}$	-----	$x_{ij}$	-----	$x_{in}$	$X_i$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
n	$x_{n1}$	$x_{n2}$	-----	$x_{nj}$	-----	$x_{nn}$	$X_n$
計	$Y_1$	$Y_2$	-----	$Y_j$	-----	$Y_n$	$X$

のモデルが開発されているが、大別すると、交通量を OD パターンとしてとらえる成長率法（現在パターン法ともいう）と、地区間交通量を個別的に数式表示することによって将来予測をする方法の二つがある。後者には、重力モデル、確率モデルなどがある。以下でこれらモデルの概要について説明する。

#### 1. 成長率法（現在パターン法）<sup>5)</sup>

この方法は、既知（現在）の OD 表と発生・集中量の成長率から  $x'_{ij}$  を求め、 $\sum_{j=1}^n x'_{ij}$ 、 $\sum_{i=1}^n x'_{ij}$  を  $X_i$ 、 $Y_j$  に収束させることにより、将来 OD 交通量を求めるもので、つぎのようなモデルがある。



## (1) 平均成長率法

ゾーン  $i, j$  間の交通量  $x_{ij}$  は両ゾーンの交通成長率の平均値で伸びると考える。すなわち

$$x'_{ij} = t_{ij} \times \frac{F_i + F_j}{2} \quad (4-2-1)$$

$$\text{ここに } F_i = X_i / T_i, \quad F_j = Y_j / U_j \quad (4-2-2)$$

$$\text{このとき } \sum_{j=1}^n x'_{ij} = X_i, \quad \sum_{i=1}^n x'_{ij} = Y_j \quad (i, j = 1, \dots, n) \quad (4-2-3)$$

が成立しない場合は  $F_i, F_j$  を新しく

$$F_i = X_i / \sum_{j=1}^n x'_{ij}, \quad F_j = Y_j / \sum_{i=1}^n x'_{ij} \quad (i, j = 1, \dots, n) \quad (4-2-4)$$

とし、 $t_{ij} = x'_{ij}$  とおいて式 (4-2-1) により再び  $x'_{ij}$  を計算する。この計算を  $F_i, F_j$  が 1.00 となるまで繰り返し、最終的に得られた  $x'_{ij}$  を  $x_{ij}$  の推定値とする。

## (2) デトロイト法

この方法は、 $x'_{ij}$  が次式で与えられると仮定する。

$$x'_{ij} = t_{ij} \times \frac{F_i \times F_j}{F} \quad (4-2-5)$$

ここに、 $F = X / T$

$F_i, F_j$  が 1.00 になるまで (1) と同様にして  $t_{ij} = x'_{ij}$  とおいて計算を繰り返す。

## (3) フレーター法

これは、次式で定義された  $L_i, L_j$  を用いる方法で、

$$L_i = \sum_{j=1}^n t_{ij} / \sum_{j=1}^n t_{ij} F_j, \quad L_j = \sum_{i=1}^n t_{ij} / \sum_{i=1}^n t_{ij} F_i$$

推定値  $x'_{ij}$  を次式により求める。

$$x'_{ij} = t_{ij} F_i \cdot F_j \cdot \frac{L_i + L_j}{2} \quad (4-2-7)$$

(1) と同様にして、 $F_i, F_j$  が 1.00 になるまで、 $t_{ij} = x'_{ij}$  とおいて計算

を繰り返す。

このフレーター法を修正した塚原法は、収束度がよいことで知られている。

つぎに成長率法の問題点について考察してみよう。

これらの方法は、モデル式に地区間所要時間を含んでいないことから、原則的には将来においても各地区間の輸送サービスの相対的水準が基準年度のものと同じであると考えているといえる。これをデトロイト法を例にとりて示してみよう。いま、交通量  $t_{ij}$ 、 $x_{ij}$  は、もし地区間に交通に対する抵抗がなければ、次式で表わされるはずである。

$$t_{ij} = \frac{T_i U_j}{T}, \quad x_{ij} = \frac{X_i Y_j}{X}$$

しかし、実際には交通抵抗その他のために上式は成立しない。このときの交通抵抗の影響度はそれぞれ、 $t_{ij}/T_i U_j/T$ 、 $x_{ij}/X_i Y_j/X$  によって表わすことができる。この値は地区間輸送サービスの水準の影響を強く受けると考えられる。デトロイト法では、そのモデル式により、この値が現在および将来の両時点において等しいと考えていることがわかる。すなわち

$$\frac{t_{ij}}{T_i U_j / T} = \frac{x_{ij}}{X_i Y_j / X}$$

が成立している。平均成長率法およびフレーター法の仮定は、本章 § 3 に示すようにデトロイト法の場合と少し異なるが、所要時間の変化を考慮できない点では、デトロイト法と同じで、所要時間の変化による交通パターンの変動を表現できないのが成長率法の欠点である。

上述の(1)、(2)、(3)の方法について、G. E. Brokke と W. L. Mertz がワシントン D. C. の 1948 年と 1955 年の自動車 OD 交通量調査の資料を用いて検討した。これによると、それぞれの予測精度はほぼ等しかったが、収束に要する計算回数は、フレーター法、平均成長率法、デトロイト法の順に多くなった。一方電子計算機による計算時間は平均成長率法、デトロイト法、フレーター法の順に多くなった。

ところで、著者等が京都市と名古屋市の通勤・通学者の昭和35年と40年の資料を用いて検討した結果では、先の場合と同様に3法の予測精度に差はほとんど認められなかったが、収束計算回数はフレーター法、デトロイト法、平均成長率法（京都市）：デトロイト法、フレーター法、平均成長率法（名古屋市）の順に多くなった。したがって、各方法の収束回数、の多少は、対象とするODパターンと将来の発生・集中量によって異なり、一般的にいうことはできない。しかし電子計算機（HITAC 5020E）による計算時間がいずれも数分間であったことを考慮すると、今日では収束の速さを問題にする必要はほとんどなくなったといえる。

成長率法の利害得失をまとめると次のようである。

#### 利 点

- 1) 成長率法はその構造が簡単で、使用実績もあり、また地区間所要時間を必要としない。
- 2) 時間交通量、日交通量のいずれの予測に対しても適用でき、また交通目的に関係なく適用できる。
- 3) 交通パターン変化の小さい場合にきわめて有効である。

#### 欠 点

- 1) 必ず地域全体の完全なOD交通量を必要とする。
  - 2) 対象地域に次のような大きな変化がある場合は使用できない。
    - a. 将来時点のゾーン分割を変える場合
    - b. 地区間所要時間および地区間の結びつきの度合が変わる場合
    - c. 土地利用パターンの大きな変化のある場合
  - 3) ある地区間に小さい交通量がある場合は次のような欠点をもつ。
    - a. 現在交通量が0なら、常に将来交通量が0となる。
    - b. 信頼性の乏しい不規則性が将来にわたって拡大される。
  - 4) 予測結果は方法によって異なり、収束の精度によっても変わる。
  - 5) 将来交通量を、成長率という唯一の数値で表現することはむづかしい。
2. 重力モデル法

これには、ニュートンの引力の法則をそのまま適用したモデル、およびこれを修正したVoorhees型に代表される種々の修正重力モデルがある。さ

らに、同時微分方程式による方法、相互作用モデルなどもこれに属する。後述する確率モデルのうちには重力モデルの考え方を採用しているものもあるが、確率の考え方を導入しているものは、確率モデルの項で説明する。重力モデルは、すべて交通抵抗の指標として地区間距離あるいは所要時間を導入している。

### (1) 重力モデル

従来わが国で最も多く用いられたもので、次式で交通量を推定する。

$$t_{ij} = k \frac{T_i^a U_j^\beta}{r_{ij}^r} \quad (4-2-8)$$

ここに、 $k$ 、 $a$ 、 $\beta$ 、 $r$ ：定数、 $r_{ij}$ ：ゾーン  $i$ ， $j$  間の所要時間、定数  $k$ 、 $a$ 、 $\beta$ 、 $r$  の値は、現在 OD 表を用いて最小自乗法により決定する。

将来の OD 交通量は次のようにして推定する。まず、将来の発生・集中交通量  $X_i$ ， $Y_j$  を用いて式 (4-2-9) により、OD 交通量の推定値  $x_{ij}'$  を求め、つぎにこれを基礎にして、成長率法で、 $\sum_{j=1}^n x_{ij}'$  および  $\sum_{i=1}^n x_{ij}'$  を  $X_i$  および  $Y_j$  に一致させる。

$$x_{ij}' = k \frac{X_i^a Y_j^\beta}{r_{ij}^r} \quad (4-2-9)$$

このとき、 $\alpha = \beta$ ， $\alpha = \beta = 0.5$  (1.0) とする場合もある。

### (2) 修正重力モデル

(1) のモデルを修正したもので、次のようなものが開発されている。

#### 1) Voorhees 型重力モデル

このモデルは、A. M. Voorhees によって提案されたもので、 $t_{ij}$  は次式で与えられると考える。

$$t_{ij} = T_i \frac{U_j f(r_{ij})}{\sum_{k=1}^n U_k f(r_{ik})} \quad (4-2-10)$$

ここに、 $f(r_{ij})$  : ゾーン  $i, j$  間の距離の効果を表わすもの。この関数型としては、

$$f(r) = r^{-\gamma}, e^{-\beta r}, \frac{1}{\beta + r}, r e^{-\beta r}, e^{-\beta (\log \frac{r}{\lambda})^2}$$

などが使われているが、最もよく使用されているのは、 $f(r) = r^{-\gamma}$  で、 $\gamma$  は過去の観測資料によく適合する値を用いる。米国では、旅行目的、旅行時間別にトラベル・タイム係数を決め、これを  $f(r)$  の代りに用いている例もある。

将来交通量は、 $T_i, U_j$  の代りに  $X_i, Y_j$  を用いて求める。

## 2) 米国道路局の重力モデル

1) のモデルを拡張したもので、次のような式で表わされる。

$$t_{ij} = T_i \frac{U_j f(r_{ij}) \cdot K_{ij}}{\sum_{k=1}^n U_k f(r_{ik}) \cdot K_{ik}} \quad (4-2-11)$$

ここに、

$K_{ij}$  : ゾーン  $i$  から  $j$  へ向うトリップの調整係数、まず  $K_{ij} = 1$  とおいて上式で交通量を求め、これで  $t_{ij}$  を割ったものを  $K_{ij}$  としている。

将来交通量は、 $T_i, U_j$  の代りに  $X_i, Y_j$  を用いて推定する。

ところで、1)、2) のモデルにおいては、一般に与えられた集中量  $Y_j$  とモデルによって計算した集中量  $\sum_i x_{ij}'$  が一致しないので、次式によって

$$Y_j' = Y_j \left[ \frac{Y_j}{\sum_{i=1}^n x_{ij}'} \right] \quad (4-2-12)$$

$Y_j'$  を求め、これを  $Y_j$  の代りに用いて  $x_{ij}'$  を新たに計算する。この操作を式 (4-2-13)

$$\left| \sum_{i=1}^n x_{ij}' - Y_j \right| \leq e, \quad (e \text{ は小さい正数}) \quad (4-2-13)$$

が成立するまでくり返し、最終的に得られた値を予測交通量とする。

## (3) 同時微分方程式法<sup>6)</sup>

この方法は、米国道路局の重力モデルの考え方を基本とし、発生・集

中交通量を何段階かに分割して分布させることにより、与えられた発生・集中量に一致するOD交通量を求めようとするものである。

この方法では、擬似時間  $t$  を導入し、交通量は  $t$  の経過とともに発生地から目的地へ流れるものとし、時刻  $t$  における残留発生・集中量  $T_i(t)$   $U_j(t)$  を発生、吸収力と考え、両者は  $t$  の経過とともに次式に従って減少し、0 となって調和を保つようになると思える。

$$\frac{d [T_i(t)]}{d t} = \sum_{j=1}^n [-K_{ij} R_{ij}] [T_i(t) U_j(t)] \quad (4-2-14)$$

$$\frac{d [U_j(t)]}{d t} = \sum_{i=1}^n [-K_{ij} R_{ij}] [T_i(t) U_j(t)] \quad (4-2-15)$$

ここに、

$R_{ij}$  : 距離などによる交通抵抗因子

そして  $D_{ij}(t) = T_i(t) U_j(t)$

とおき、式 (4-2-14)、(4-2-15) を積分すると次式を得る。

$$T_i(t_k) = T_i(t_0) - \sum_{j=1}^n \int_{t_0}^{t_k} [K_{ij} R_{ij} D_{ij}(t)] dt$$

$$U_j(t_k) = U_j(t_0) - \sum_{i=1}^n \int_{t_0}^{t_k} [K_{ij} R_{ij} D_{ij}(t)] dt$$

これらの式は、時刻  $t_0$  に配分を開始したときの時刻  $t_k$  における発生、吸収力  $T_i(t_k)$ 、 $U_j(t_k)$  を表わしている。両者は、その定義から時刻  $t$  の経過とともに小さくなり、最終的に 0 となる。したがって、

$$T_i(t_0) = \sum_{j=1}^n \int_{t_0}^{t=\infty} [K_{ij} R_{ij} D_{ij}(t)] dt \quad (4-2-16)$$

$$U_j(t_0) = \sum_{i=1}^n \int_{t_0}^{t=\infty} [K_{ij} R_{ij} D_{ij}(t)] dt \quad (4-2-17)$$

が成立する。また

$$t_{ij} = \int_{t_0}^{t=\infty} [K_{ij} R_{ij} D_{ij}(t)] dt \quad (4-2-18)$$

である。式(4-2-18)を数値積分すれば、地区間交通量  $t_{ij}$  を求めることができる。その1例として次式が考えられる。

$$t_{ij}(t_{k,k+1}) = [0.5 K_{ij} R_{ij}] [T_i(t_k) U_j(t_k) + T_i(t_{k+1}) U_j(t_{k+1})] [\Delta t_{k,k+1}] \quad (4-2-19)$$

ところで、調整係数  $K_{ij}$  は次のようにして計算する。

$$K_{ij} = (\text{仮定した } K_{ij} = 1) \left[ \frac{\text{実際の } t_{ij}}{\text{計算された } t_{ij}} \right]$$

また、 $\Delta t_{k,k+1}$  としては、次の値の最小値を用いる。

$$\frac{T_i(t_k)}{\sum_{j=1}^n K_{ij} R_{ij} D_{ij}(t_k)}, \quad \frac{U_j(t_k)}{\sum_{i=1}^n K_{ij} R_{ij} D_{ij}(t_k)}$$

#### (4) 静電気モデル<sup>7) 8)</sup>

静電気に関するクローンの法則を交通量予測に応用したものといわれているが、修正重力モデルの一種と考えることができる。その基本式は次のようなものである。

$$t_{ij} = \frac{\frac{T_i U_j}{r_{ij}}}{\sum_{j=1}^n \frac{U_j}{r_{ij}}} \quad (4-2-20)$$

$$t_{ji} = \frac{\frac{T_i U_j}{r_{ij}}}{\sum_{i=1}^n \frac{T_i}{r_{ij}}} \quad (4-2-21)$$

ここに、 $r_{ij}$ ：ゾーン  $i, j$  間の直線距離、

ゾーン  $i, j$  間の予測交通量は、式(4-2-20)、(4-2-21)のいずれを用いるかによって異なり、また  $\sum_j t_{ij}$ 、 $\sum_i t_{ij}$  が発生・集中量

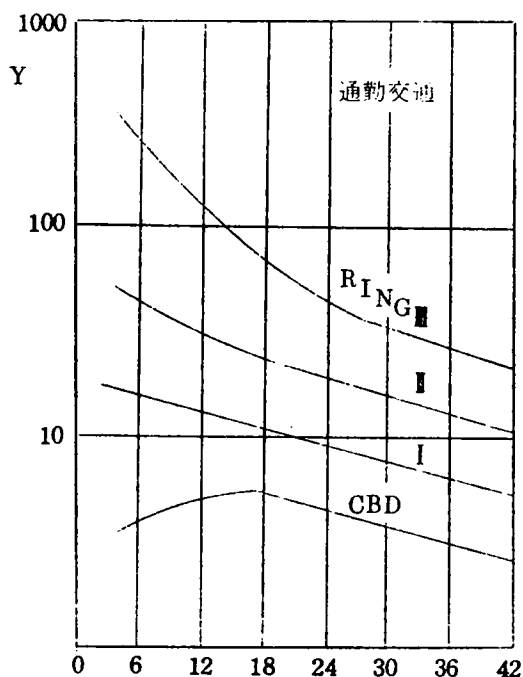
$T_i$ ,  $U_j$  に等しくならないことがあるので、これを調整する必要がある。調整法の一つは、 $T_i$  をいくつか分割して、順次目的地へ不足分を充足するように配分して行く計算法である。他の一つは、修正係数を用いる方法で、両式の配分結果を次式で計算される係数  $C_j$ ,  $C_i$  を用いて修正する。この操作を与えられた条件を満足するまで繰り返す。

$$C_j = \frac{U_j}{\sum_{i=1}^n t_{ij}} \quad , \quad C_i = \frac{T_i}{\sum_{j=1}^n t_{ij}}$$

#### (5) 相互作用モデル<sup>9)</sup>

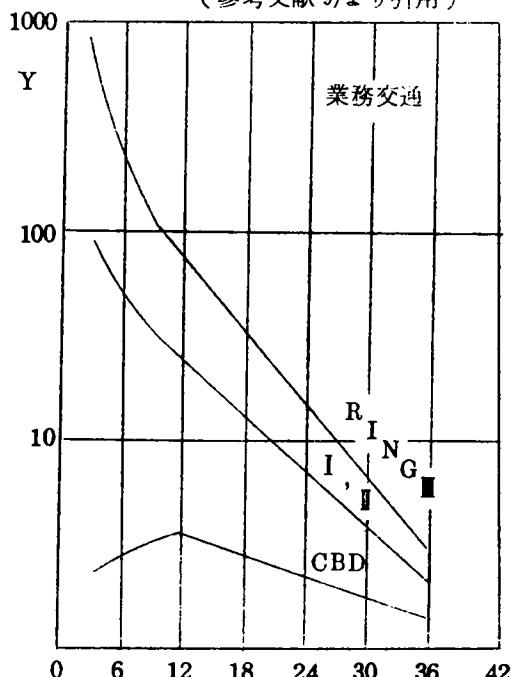
このモデルは、重力モデルの考え方を基本として、交通抵抗因子の値とゾーン間所要時間の関係を表わしたグラフを用いて交通量を推定する方法である。すなわち、式(4-2-22)とゾーン間所要時間と、図4-2-1の出発ゾーンの位置および土地利用特性で分類されたグループごとに与えられた曲線を用いて将来交通量を推定する。

図 4-2-1



所要時間(分)

(参考文献9)より引用)



所要時間(分)



$$Y_{ij} = \frac{t_{ij} \times 10^6}{T_i U_j} \quad (4-2-22)$$

予測交通量をあらかじめ与えられた発生・集中量に一致させるためには、 $\sum_j t_{ij}$ 、 $\sum_i t_{ij}$  と  $X_i$ 、 $Y_j$  から調整係数を求め、これを  $t_{ij}$  に乗じ、その平均を求めるという操作をくり返す。

#### 重力モデル法の比較検討

似た構造をもつモデルは同様な問題点、利点、欠点をもっているのもまとめて考察する。

#### (1) 重力モデル、修正重力モデル、同微分方程式法、静電気モデル

重力モデルでは、予測式がすべて地区間所要時間および距離などの交通抵抗要因を含んでおり、モデルの適否は、ある程度まで交通抵抗要因の予測が適当かどうかにかかっている。しかし、所要時間は輸送施設とその間の交通量が与えられて決まるものである。輸送施設は交通量の予測に基づいて建設されるものであるのに、その交通量の予測のために所要時間が必要であるということなので、正しい所要時間を予測することはむづかしい。そこで、この問題を解決するためには、まず所要時間を仮定し、交通量の予測、施設計画の立案を行ない、そのときの所要時間を算定し、これが、始めに仮定したものに等しいかどうかを検討し、等しくなければ、新たに施設計画より得られた所要時間を用いて予測作業をくり返す必要がある。

重力モデルの利点と欠点は次のようである。

#### 利 点

- 1) 重力モデルでは、土地利用の交通に対する影響を考慮に入れることができる。
- 2) 地区間の所要時間の変化に対して敏感に対応できる。
- 3) モデルの構造がわかり易く、どんな地域へでも適用できる。
- 4) 完全なOD調査を必要としない。

#### 欠 点

- 1) 重力モデルは社会現象への簡単な物理学の法則の適用にすぎない。

類似性はあるが、もっと人間の行動に立脚した方法が要求される。

- 2) 対象とする地域に一つの平均的な交通パターンを適用することの問題がある。
- 3) トリップ長分布が全地域で一定ではない。したがって、距離に関する係数 $\gamma$ は必ずしも一定値ではないのに一定値と仮定している。
- 4) 地点間距離（所要時間）において、その性質に変動があると考えられるので、ゾーン間所要時間として一つの所要時間を用いることには問題がある。
- 5) 地区間の距離が0に近づくにつれて交通量は無限に大きくなるが、この点は現実と合わない。距離が小さい場合は過大予測になる危険がある。
- 6) ゾーンと交通量が小さい場合は、モデルは実績値を説明しにくい。
- 7) 重力モデルでは、観測された交通パターンに結果を適合させるために、比例因子 $K_{ij}$ などの適当な操作を必要とする。また与えられた発生・集中量に計算値 $t_{ij}$ を一致させるためにくり返し計算を必要とする。

#### 四) 相互作用モデル

この方法は重力モデルの中でも他と異なった特徴をもっているので、別に考察する。

このモデルで用いるグラフが平行でないということは、重力モデルの一つの平均的な交通パターンの式を全地域に適用できるという仮定が必ずしも正しくないことを示している。なぜなら、地域ごとの曲線の勾配が異なるということは、交通抵抗を表わす距離および所要時間 $r_{ij}$ の係数 $\gamma$ の値が一定でないことを示しているからである。また、現在の交通量の観測資料から得られた分布則をそのまま将来予測に利用する点に問題がある。このモデルの利点と欠点をまとめると次のようになる。

##### 利 点

- 1) 交通量予測において、地域全体に一つの平均的な交通パターンを適用することの欠点がある程度補うことができる。

2) 各地区における社会的、物理的な特殊事情を考慮に入れることができる。

3) 適用例では、重力モデルより予測精度がよい。

欠 点

1) 手法が比較的むづかしく、未経験者には適用しにくい。

2) 必要な資料を得るために、完全なOD調査を必要とするので経費がかかる。

### 3. 確率モデル

ここでは、確率の考え方を導入している予測モデルを確率モデルとして分類した。これには、Schniderの介在機会モデル、A. R. Tomazinisの競合機会モデル、佐佐木のエントロピー法などがある。

#### (1) 介在機会モデル<sup>10)</sup>

このモデルでは、人は交通（トリップ）をできるだけ短かく終えようとし、ある地点で止まる確率は一定値 $L$ であると仮定する。この仮定より、トリップがゾーン $i$ から $j$ へ行く確率 $P_{ij}$ は次式で与えられることを導くことができる。

$$P_{ij} = \frac{e^{-L\sum U_k}}{e^{-L\sum U_k} - e^{-L(\sum U_k + U_j)}} \quad (4-2-23)$$

ここに、 $\sum U_k$ ：ゾーン $j$ より優先する目的地への交通量（ゾーン $i$ からの距離がゾーン $j$ までより近いゾーンへの交通量）

したがって、ゾーン $i$ から $j$ への交通量は次式で与えられる。

$$t_{ij} = T_i \left\{ \frac{e^{-L\sum U_k}}{e^{-L\sum U_k} - e^{-L(\sum U_k + U_j)}} \right\} \quad (4-2-24)$$

ところで、トリップの目的が異なれば、異なった $L$ をもつので上式は次のようになる。

$$t_{ij} = \sum_{l=1}^m T_i^l \left\{ \frac{e^{-L_l \sum U_k^l}}{e^{-L_l \sum U_k^l} - e^{-L_l(\sum U_k^l + U_j^l)}} \right\} \quad (4-2-25)$$

ここに、 $l$ はトリップの目的を表わす。

現在交通量の観測資料を用いて $L$ の値を決定し、 $T_i$ 、 $U_j$ の代りに $X_i$ 、 $Y_j$ を用いて将来交通量を推定する。

このモデルで交通量の分布を推定するためには、所要時間による目的地の順序と交通目的ごとのLの値を決める必要がある。このモデルの予測精度は、ある程度まで使用されるLの値の正確さと時間の経過に対する安定性によって左右される。さらに、ある特定のゾーンの到着交通量はあらかじめ予測されている集中交通量に一致しないので、くり返し計算あるいはLの値を変えることによって調整する必要がある。

つぎにこのモデルの利点と欠点を述べる。

#### 利 点

- 1) ゾーンおよび地域の境界に無関係にモデルの適用ができる。
- 2) 比較的計算が簡単である。
- 3) 適用例によると、重力モデルよりよい予測値を与えた。

#### 欠 点

- 1) 未経験者には適用しにくい。
- 2) 必要な資料を得るためにOD調査を必要とするので経費がかかる。
- 3) Lの決定がむづかしい。

#### (2) 競合機会モデル<sup>11)</sup>

このモデルでは、まずゾーンをゾーン間交通の所要時間および所要経費によってグループ分けする。そして、あるゾーンからの到達所要時間によって分類された時間帯k内の目的地は、時間帯k以内の目的地と競合関係にあると考える。このような考えに基づいて、人がゾーンiからjへ行く確率を、トリップを吸引する確率( $U_j / \sum_{k=1}^j U_k$ )と充足度の確率( $1 - \sum_{k=1}^j U_k / \sum_{k=1}^n U_k$ )の積で与えられると考える。この確率の合計は1より大となるので、これを調整すると交通量 $t_{ij}$ は次式で与えられる。

$$t_{ij} = T_i \frac{\frac{U_j}{\sum_{k=1}^j U_k} - \frac{U_j}{\sum_{k=1}^n U_k}}{\sum_{j=1}^n \left\{ \frac{U_j}{\sum_{k=1}^j U_k} - \frac{U_j}{\sum_{k=1}^n U_k} \right\}} \quad (4-2-26)$$

ここに、n：ゾーン総数、 $\sum_{k=1}^j U_k$ ：ゾーンjが含まれる時間帯以内の全ゾ

ーンについて集中交通量  $U_k$  の和を求めることを意味する。

将来交通量は  $T_i, U_j$  の代りに  $X_i, Y_j$  を用いて推定する。この方法の利点と欠点は次のようである。

利 点

1) ゾーンおよび地域の境界の変動などによる適用制限を受けない。

欠 点

1) 時間帯の分割の仕方により、地区間交通量が変動する。

2) あるゾーンの到着交通量があらかじめ与えられた集中交通量に等しくなる保証はなく、またこの調整がむづかしい。

(3) エントロピー法<sup>12),13),14)</sup>

旅客がゾーン  $i$  から  $j$  へ行く確率（遷移確率）を  $p_{ij}$  とすると、 $x_{ij}$  は

$$x_{ij} = X_i p_{ij} \quad (4-2-27)$$

と表わせる。いま、 $u_i = X_i / X$ ,  $v_j = Y_j / Y$  とおくと、

$$\sum_{j=1}^n p_{ij} = 1, \quad \sum_{i=1}^n u_i p_{ij} = v_j \quad (4-2-28)$$

が成立する。この方法は、トリップ発生先確率  $p'_{ij}$  が次式（4-2-29）で与えられると仮定し（ $\gamma$  は現在 O D 表から最小自乗法により定める）、条件式（4-2-28）の下で式（4-2-30）を最大にする  $p_{ij}$  を求めることにより、

$$p'_{ij} = \alpha u_i v_j r_{ij}^{-\gamma} \quad (4-2-29)$$

確率的に最も起り易い O D パターンを求めようとするものである。

$$R \equiv - \sum_i \sum_j u_i p_{ij} \log p_{ij} - \gamma \sum_i \sum_j u_i p_{ij} \log r_{ij} \quad (4-2-30)$$

$R_{max}$  を与える  $p_{ij}$  を式（4-2-27）に代入して  $x_{ij}$  の推定値を求める。

このモデルでは、トリップ  $ij$  の生じる先験確率  $p'_{ij}$  が式（4-2-29）で与えられると仮定しているが、対象によっては他の形の先験確

率を仮定することも随意であって、たとえば式(4-2-31)のような指数分布形の先験確率 $p'_{ij}$ を仮定することもできる。 $p'_{ij}$ を与える式としては、

$$p'_{ij} = \alpha u_i v_j e^{-\gamma t_{ij}} \quad (4-2-31)$$

このほかにもいくつか提案されている。<sup>15) 16)</sup>したがって、交通量予測に際しては、これらのうちのいずれを採用すべきかを現在OD表を用いて検討する必要がある。また確率的に最も起り易いODパターンを求めるというのも、 $p'_{ij}$ が式(4-2-29、31)などで与えられると仮定した場合の同時生起確率が最大のODパターンを求めることであって、先験確率の仮定の正当性いかんによって実際のODパターンを説明できるかどうかが決まるのである。

この方法の利点と欠点は次のようである。

#### 利 点

- 1) 重力モデルの利点をすべて備えている。
- 2) 周辺分布( $u_i, v_j$ )が対角線に対して対称であれば、確率論的には対称なODパターンが得られることが、佐佐木・香川によって証明されているが、<sup>17)</sup>エントロピー法の結果はこの条件を満足している。ただし所要時間が往復で等しいことを前提とする。したがって、このような性質を有する業務交通のODパターンの推定に利用することができる。
- 3) ゾーン間所要時間の指数 $\gamma$ の変動のODパターンに与える影響がはっきりしている。 $\gamma=0$ はトリップの発生が所要時間によって左右されない場合のODパターンを与え、 $\gamma=\infty$ の場合は、輸送コスト最小を要求するL. P.としての輸送計画の解に一致する。実際のODパターンは両者の中間に位置づけられる。
- 4) エントロピー法によって得られたOD交通量は期待値としての意味をもたせており、実際に観測されたOD表は先験確率を母数とする母集団からのサンプルとしてとらえている。
- 5) 対象地域全体が一体としての結びつきを有する場合は同一の先験確

率をもつ母集団と考えられるので、特に有効である。したがって、新産業都市のように現在はまだ一体としての地域活動をしていない地域でも、将来における一体化した地域を計画する場合にはエントロピー法で求めたOD交通量が計画OD表として採用できて、きわめて有効である。また長期的ODパターンの推定に対して用いるべき指数 $\gamma$ の値は、現在の指数 $\gamma$ より幾分小さくとるべきである。なぜなら交通圏が漸次拡大していくからである。

#### 欠 点

- 1) 重力モデルの欠点1)～6)をもっている。
- 2) エントロピー法ではスターリングの公式を使うので、OD交通量が100以上の場合に使用すべきであり、全要素が100未満のときは使用できない。したがってあまりゾーニングを細かくすべきではない。
- 3) 対象地域全体が一体としての機能をもっていない場合には、現状パターンに対する適合度が低い。したがってあまり大きな対象地域に対しては適用すべきでない。
- 4) 通勤、通学交通に対する適合性が低い。

この方法の対象地域の広さと交通目的の組合せに対する適用の可否を示すと、次表4-2-1のようである。表中の×は適用するのは好ましくないことを、○は適用すると良好な結果を得ることを、さらに△はその中間であることを表わし、それぞれの記号の数は多いほどその性質が強いことを示す。

表4-2-1

交通目的 対象地域	通 学	通 勤	観 光	業 務	娛 楽	買 物
地方(例えば 中部地方)	× × ×	×	△	×	×	×
県	× ×	×	○	○	○	○
都 市	×	△	△	○○	○○	○○

4. トリップ ポテンシャル モデル<sup>18)</sup>

このモデルは、P. S. Loubal と R. B. Potts によって提案されたもので、成長率法と重力モデルの両方の性質を備えたものといえる。これにおいては交通量  $t_{ij}$  が次式で与えられると考えている。

$$t_{ij} = \{T_i + T_i(g)\} \{U_j + U_j(g)\} / \{T + T(g)\} - g_{ij} \quad (4-2-27)$$

ここに、 $T_i(g) = \sum_{j=1}^n g_{ij}$  ,  $U_j(g) = \sum_{i=1}^n g_{ij}$  ,  $T(g) = \sum_{i=1}^n T_i(g) = \sum_{j=1}^n U_j(g)$  ,

$g_{ij}$  : 修正項

修正項が  $T_i(g) = U_j(g) = 0$  を満足する場合の  $g_{ij}$  を  $\bar{g}_{ij}$  のように “-” を付けて表わす。このときは、

$$t_{ij} = \frac{T_i U_j}{T} - \bar{g}_{ij} \quad (4-2-28)$$

となる。そして、このOD交通量に対して、次のようなネットワークパラメータ  $\bar{r}_{ij}$  を定義する。

$$\bar{r}_{ij} = \frac{\bar{g}_{ij} T}{T_i U_j} \quad (4-2-29)$$

この  $\bar{r}_{ij}$  はゾーン  $i$  ,  $j$  間の所要時間、運賃などの交通に及ぼす影響を表わす係数と考えることができる。

将来交通量を予測するためには、次のような方法を用いる。まず、ネットワークパラメータは将来も現在のままであると考え、将来の修正項  $g'_{ij}$  が次式で与えられると考える。

$\bar{r}_{ij}$  は現在のOD交通量を用いて決定する。

$$g'_{ij} = X'_i \bar{r}_{ij} Y'_j / T \quad (4-2-30)$$

ここに、

$$X'_i = X_i \cdot T / X , \quad Y'_j = Y_j \cdot T / X$$

そして、将来交通量  $x_{ij}$  は次式 (4-2-31、32) によって求める。

$$x_{ij} = \{X'_i + X_i(g)\} \{Y'_j + Y_j(g)\} / \{T + X(g)\} - g'_{ij} \quad (4-2-31)$$



ここに、 $X_i(g) = \sum_{j=1}^n g'_{ij}$  ,  $Y_j(g) = \sum_{i=1}^n g'_{ij}$  ,  $X(g) = \sum_{i=1}^n X_i(g) = \sum_{j=1}^n Y_j(g)$

$$x_{ij} = \frac{X}{T} \cdot x'_{ij} \quad (4-2-32)$$

$x'_{ij}$  が負数となる場合は、次式の定数  $k$  を適当に決めてすべての  $x_{ij}$  を 0 または正とする。

$$x_{ij} = \left\{ x'_{ij} + k \frac{X_i' Y_j'}{T} \right\} / (1+k) \quad (4-2-33)$$

この方法の利点と欠点は次のようである。

利 点

- 1) 計算が比較的簡単である。
- 2) 発生・集中量に予測交通量を一致させるためのくり返し計算を必要としない。
- 3) 交通抵抗要因である所要時間および距離を測定する必要がない。
- 4) ゾーンを統合する場合あるいは一部分の地域の交通量を予測する場合にも適用できる。

欠 点

- 1) ネットワーク パラメータが一定であると仮定すると、交通パターンの大きな変動のある場合は予測精度が悪くなる。
- 2) ネットワーク パラメータを予測する場合は、その予測がむづかしい。
- 3) 負の交通量を修正する場合、交通量を一意的に決める根拠がない。
- 4) 完全な O D 調査を必要とするので経費がかかる。

### § 3 モデル式の構造の比較

ここでは、交通パターンの一指標として地域間結合度を定義し、前記各モデル式が現在の地域間結合度と将来のそれとの関係をどのように表現しているかを検討する。

#### 1. 地域間結合度

もし地区間の交通に対する抵抗が全くなく、交通量のゾーン  $i$ 、 $j$  間の分布が一様分布であると仮定すると、地区  $i$ 、 $j$  の発生・集中交通量  $T_i$ 、

$U_j$  が与えられたとき、地区間交通量  $\bar{t}_{ij}$  は次式で与えられる。なぜなら、 $i$  地区から発生する交通量が  $j$  地区へ行く確率は  $U_j/T$  で与えられるから

$$\bar{t}_{ij} = \frac{T_i U_j}{T} \quad (4-3-1)$$

である。ところが、実際の  $i$ 、 $j$  間の交通量  $t_{ij}$  は  $\bar{t}_{ij}$  に等しくない。これは、 $i$ 、 $j$  間の距離および所要時間に代表される交通抵抗や地区間の結びつきによって、交通量  $t_{ij}$  が  $\bar{t}_{ij}$  以上あるいは以下になるためである。

したがって、 $t_{ij}/\bar{t}_{ij}$  の値で地区間の交通抵抗と結びつきの度合を総合した、交通上の関係の強さを表わすことができる。ここでは、これを地域間結合度と名付けることにする。この値が大きいほど地区間の交通上の結びつきが強いと考えることができる。またこの値がわかれば、発生・集中量さえ与えられれば、地区間交通量  $t_{ij}$  を求めることができる。

ここでは、ある地域の OD 交通パターンは  $t_{ij}/\bar{t}_{ij} \equiv R_{ij}$  で表わされると考える。一般に地域全体の交通量が一率に  $k$  倍になったとき、交通パターンは不変であると考えられるが、OD パターンを  $R_{ij}$  で表わせば、交通量が一率に  $k$  倍になったときの  $R'_{ij}$  は次式に示すように  $R_{ij}$  に等しくなり、

$$R'_{ij} = \frac{k t_{ij}}{k T_i \cdot k U_j} = \frac{t_{ij}}{T_i U_j} = R_{ij}$$

交通パターンを表示するための指標のもつべき必要条件を満たしている。

また、OD パターンの類似性の比較は、

$$\begin{aligned} \chi^2 &= \sum_{i,j} \frac{(t'_{ij} - t_{ij})^2}{t_{ij}} = \sum_{i,j} \frac{\left( \frac{T_i U_j}{T} R'_{ij} - \frac{T_i U_j}{T} R_{ij} \right)^2}{\frac{T_i U_j}{T} R_{ij}} \\ &= \sum_{i,j} \frac{\frac{T_i U_j}{T} (R'_{ij} - R_{ij})^2}{R_{ij}} \end{aligned}$$

あるいは、

$$\sum_{i,j} (R'_{ij} - R_{ij})^2$$

で比較すればよい。同一地域の同一地区分割OD表においては、これらの値が小さいほどODパターンは似ていると判断する。発生・集中量が等しいOD表のパターンの比較は両式の値により、そうでない場合の比較は後式の値によって行なうことができる。

## 2. モデル式の比較

つぎに、ODパターンを $R_{ij}$ で表わしたとき、各予測モデルが将来のODパターンをどのようにとらえているかを考察してみよう。いま現在のゾーン $i, j$ 間の地域間結合度を $\bar{R}_{ij}$ とし、将来のそれを $R_{ij}$ とすると、

$$\bar{R}_{ij} = \frac{t_{ij}}{\frac{T_i U_j}{T}}, \quad R_{ij} = \frac{x_{ij}}{\frac{X_i Y_j}{X}}$$

である。そして $X, X_i, Y_j$ がそれぞれ $T, T_i, U_j$ の $c, a_i, b_j$ 倍であるとき、各モデルの基本式における $R_{ij}$ と $\bar{R}_{ij}$ の関係について検討する。そのために、各モデル式を $R_{ij}$ と $\bar{R}_{ij}$ を用いて表わすと次のようになる。

### (1) 成長率法

#### 1) 平均成長率法

$$\begin{aligned} R_{ij} &= \frac{x_{ij}}{\frac{X_i Y_j}{X}} = t_{ij} \times \frac{1}{2} \left( \frac{X_i}{T_i} + \frac{Y_j}{U_j} \right) \frac{X}{X_i Y_j} \\ &= \frac{1}{2} \left( \frac{c}{a_i} + \frac{c}{b_j} \right) \frac{t_{ij} T}{T_i U_j} = \frac{1}{2} \left( \frac{c}{a_i} + \frac{c}{b_j} \right) \bar{R}_{ij} \\ \therefore R_{ij} &= \frac{1}{2} \left( \frac{c}{a_i} + \frac{c}{b_j} \right) \bar{R}_{ij} \end{aligned}$$

#### 2) デトロイト法

$$R_{ij} = \bar{R}_{ij}$$

#### 3) フレーター法

$$R_{ij} = \frac{c}{2} \left\{ \frac{\sum_j t_{ij}}{\sum_j b_j t_{ij}} + \frac{\sum_i t_{ij}}{\sum_i a_i t_{ij}} \right\} \bar{R}_{ij}$$

成長率法は、 $x_{ij}$  を与えられた発生、集中量に一致させるためにくり返し計算法を用いるので、上式は必ずしも最終結果の  $R_{ij}$  と  $\bar{R}_{ij}$  の関係を与えていないが、モデル式の構造から原則的には上式に近い関係が成立していることが推測できる。

(2) 重力モデル

$$1) \text{ モデル(1)} \quad t'_{ij} = k \frac{T_i U_j}{r_{ij}^r}$$

$$R_{ij} = c \bar{R}'_{ij}$$

$$\text{ただし、} \quad \bar{R}'_{ij} = \frac{t'_{ij}}{\frac{T_i U_j}{T}}$$

$$2) \text{ モデル(2)} \quad t_{ij} = k \frac{\sqrt{T_i U_j}}{r_{ij}^r}$$

$$R_{ij} = \frac{c}{\sqrt{a_i b_j}} \bar{R}'_{ij}$$

3) Voorhees 型重力モデル

$$t_{ij} = T_i \frac{\frac{U_j}{r_{ij}^r}}{\sum_{k=1}^n \frac{U_k}{r_{ik}^r}}$$

$$R_{ij} = c \cdot \frac{\sum_{k=1}^n \frac{U_k}{r_{ik}^r}}{\sum_{k=1}^n \frac{b_k U_k}{r_{ik}^r}} \bar{R}'_{ij}$$

4) 米国道路局モデル

$$t_{ij} = T_i \cdot \frac{\frac{K_{ij} U_j}{r_{ij}^r}}{\sum_{k=1}^n \frac{K_{ik} U_k}{r_{ik}^r}}$$

$$R_{ij} = c \cdot \frac{\sum_{k=1}^n \frac{K_{ik} U_k}{r_{ik}^r}}{\sum_{k=1}^n \frac{K_{ik} b_k U_k}{r_{ik}^r}} \cdot \bar{R}_{ij}$$

重力モデルでも予測交通量を発生、集中量に一致させるために修正計算法を用いるので、 $R_{ij}$  と  $\bar{R}_{ij}$  はほぼ上式に近い関係をもつとしかいえない。また4)以外は、 $\bar{R}_{ij}$  が実際の地域間結合度を表わしていない。なぜなら、それぞれのモデル式で表わされた交通量  $t_{ij}'$  を現在交通量とみなして  $\bar{R}_{ij}$  を求めていることになるからである。ここでは、このような地域間結合度を  $\bar{R}_{ij}'$  で表わした。したがって、 $t_{ij}'$  は平均的な値となるので  $\bar{R}_{ij}'$  も平均的な値となっている。これが重力モデルの適合度を悪くする原因の一つであろう。

モデル(1)と(2)では、(2)の方の適合度がよいが、これは将来予測において、(1)では  $c$  だけを考慮しているのに対して、(2)では  $c$ 、 $a_i$ 、 $b_j$  をすべて考慮していることによると考えられる。

モデル4)は調整係数  $K_{ij}$  を導入しているので、 $\bar{R}_{ij}$  がほぼ実際の地域間結合度に近い値を示していると考えることができる。

### (3) 確率モデル

#### 1) 介在機会モデル

$$R_{ij} = \frac{c \left\{ e^{-L \sum b_k U_k} - e^{-L (\sum b_k U_k + b_j U_j)} \right\}}{b_j \left\{ e^{-L \sum U_k} - e^{-L (\sum U_k + U_j)} \right\}} \bar{R}_{ij}'$$

#### 2) 競合機会モデル

$$R_{ij} = c \cdot \frac{\left\{ \frac{1}{\sum_{k=1}^j b_k U_k} - \frac{1}{\sum_{k=1}^n b_k U_k} \right\} \left[ \frac{\sum_{j=1}^n \left\{ \frac{U_j}{\sum_{k=1}^j U_k} - \frac{U_j}{\sum_{k=1}^n U_k} \right\} \right]}{\left[ \sum_{k=1}^n \left\{ \frac{b_j U_j}{\sum_{k=1}^j b_k U_k} - \frac{b_j U_j}{\sum_{k=1}^n b_k U_k} \right\} \right] \left\{ \frac{1}{\sum_{k=1}^j U_k} - \frac{1}{\sum_{k=1}^n U_k} \right\}} \bar{R}_{ij}'$$

#### 3) エントロピー法

$$p_{ij}' = \alpha u_i v_j r_{ij}^{-r} \text{ の場合} \quad R_{ij} = \bar{R}_{ij}'$$

確率モデルも重力モデルと同様に、現在の地域間結合度としてはモデル式による推定交通量  $t'_{ij}$  に対する  $\bar{R}'_{ij}$  を用いている。また交通量を与えられた発生・集中量に一致させるために修正計算を行なうので、上式に近い関係が成立しているといえる。

(4) トリップ ポテンシャル モデル

$$R_{ij} = \frac{\left[ \frac{\left\{ \frac{a_i}{c} T_i + X_i(g) \right\} \left\{ \frac{b_j}{c} U_j + Y_j(g) \right\}}{T + X(g)} - \frac{a_i b_j}{e^2} \bar{g}_{ij} \right] \frac{c^2 T}{T_i U_j a_i b_j}}{1 - \frac{T}{T_i U_j} \bar{g}_{ij}} \bar{R}_{ij}$$

このモデルでは、現在の地域間結合度として実際の値を用いている。

つぎに地域間結合度  $\bar{R}_{ij}$ 、 $R_{ij}$  の満足すべき条件について考察してみよう。 $t_{ij}$  の  $j$ 、 $i$  に関する合計は発生・集中量に一致しなければならないから、 $\bar{R}_{ij}$  は次式を満足すべきである。

$$\sum_{j=1}^n \bar{R}_{ij} \cdot \frac{T_i U_j}{T} = T_i \quad \therefore T = \sum_{j=1}^n \bar{R}_{ij} U_j \quad (4-3-2)$$

( $i=1, \dots, n$ )

$$\sum_{i=1}^n \bar{R}_{ij} \cdot \frac{T_i U_j}{T} = U_j \quad \therefore T = \sum_{i=1}^n \bar{R}_{ij} T_i \quad (4-3-3)$$

( $j=1, \dots, n$ )

また将来交通量もこの関係を満足しなければならないから次式を得る。

$$cT = \sum_{j=1}^n R_{ij} b_j U_j, \quad (i=1, \dots, n) \quad (4-3-4)$$

$$cT = \sum_{i=1}^n R_{ij} a_i T_i, \quad (j=1, \dots, n) \quad (4-3-5)$$

式(4-3-2, 3, 4, 5)より、 $R_{ij}$  と  $\bar{R}_{ij}$  の関係を求めると次式のようになる。

$$c \sum_{j=1}^n \bar{R}_{ij} U_j = \sum_{j=1}^n R_{ij} b_j U_j, \quad (i=1, \dots, n) \quad (4-3-6)$$

$$c \sum_{i=1}^n \bar{R}_{ij} T_i = \sum_{i=1}^n R_{ij} a_i T_i, \quad (j=1, \dots, n) \quad (4-3-7)$$

この式(4-3-6, 7)は、発生・集中量と総交通量が変動するときの地域間結合度  $R_{ij}$  の変動を規定するものである。これより、発生・集中量が一様に変化しない場合は、必ず地域間結合度すなわち交通パターンに変化が生ずることがわかる。なお、発生量合計と集中量合計が等しいから、式(4-3-6, 7)のうち、独立な条件式は  $(2n-1)$  個である。

以上より、交通量予測モデルでは  $\bar{R}_{ij}$  と  $a_i, b_j, c$  を用いて  $R_{ij}$  を予測していると考えることができる。その予測モデル式は前述の  $R_{ij}$  と  $\bar{R}_{ij}$  の関係式である。しかし、各モデルとも  $R_{ij}$  に式(4-3-6, 7)を満足させるための修正計算をするので、 $\bar{R}_{ij}$  と  $R_{ij}$  の関係は先に示した基本式の関係を保ずしも保持していないが、近似的には各式の関係が成立しているはずである。

モデル式をその基本構造からみると、平均成長率法に代表される  $R_{ij} = A\bar{R}_{ij}$ ,  $A = c/a_i, c/b_j, 1/2(c/a_i + c/b_j), c/\sqrt{a_i b_j}$  の型がほとんどで、これらと大きく異なるモデルはデトロイト法とエントロピー法の  $R_{ij} = \bar{R}_{ij}$  である。トリップポテンシャルモデルが後者に属し、その他はすべて前者に属すると考えることができる。

また  $\bar{R}_{ij}$  として実際の値を用いているのは、成長率法と重力モデルの米国道路局モデルとトリップポテンシャルモデルだけで、その他はすべてモデルで計算された  $r_{ij}$  に対する平均的な  $\bar{R}_{ij}'$  を用いている。本章 § 5 に示す実績値に対するモデルの適合度の比較結果によると、平均成長率法とデトロイト法の間にはモデル式の構造に差があるにもかかわらず、両モデルの適合度に差がなく、モデルの構造があまり違わない成長率法と重力モデル(2)との間に相当大きな適合度の差があった。これらの点を考慮すると、モデルの適合度の良し悪しは、 $\bar{R}_{ij}$  として実際の値を用いているかどうかによるといえよう。遠い将来の交通量を予測する場合は、交通もある程度平均化するので、 $\bar{R}_{ij}$  として実際の値でなく平均的な値を用いている重力モデルなどの適合度がよくなることも考えられるが、成長率法よりよくなるという保証はない。

将来、地区間所要時間が変わるために地域間結合度が変化する場合、 $r_{ij}'$  をモデルに含むものはこれを  $R_{ij}$  に反映できるが、そうでないもの

は適合度が悪くなる。なぜなら、1例として重力モデルを考えれば、地域間結合度は現在と将来で所要時間に変化がある場合、先に示した  $r_{ij}$  に変化がないときの  $R_{ij}$  と  $\bar{R}_{ij}$  の関係式を  $R_{ij} = A \bar{R}_{ij}$  と表わすと、

$$R_{ij} = \left( \frac{r_{ij}}{r'_{ij}} \right)^{\gamma} A \bar{R}_{ij} \quad (4-3-8)$$

ここに、 $r_{ij}$  : 現在の所要時間、 $r'_{ij}$  : 将来の所要時間  
 将来の地域間結合度は式(4-3-8)で与えられるからである。 $r'_{ij}$  の  $\gamma$  の値が現在と将来で変わる場合は次式で  $R_{ij}$  が与えられる。

$$R_{ij} = \frac{r_{ij}^{\gamma}}{r'_{ij}{}^{\gamma}} A \bar{R}_{ij} \quad (4-3-9)$$

しかし、一般に  $\gamma$  の将来値を推定することは非常にむづかしいので、現在値を用いる場合が多い。

以上をまとめると次のことが言える。

地区間交通量の予測において、比較的短期間で地区間の所要時間に差がない場合は、モデル式の構造から成長率法と米国道路局の修正重力モデルの適合性がよいことが推測できる。これは  $\bar{R}_{ij}$  として実際の地域間結合度を用いているからである。所要時間に変化がある場合は、交通抵抗が変化すると考えられるから、所要時間を含むモデルでなければ予測精度が悪くなる。したがって、このときは米国道路局モデルの適合性がよいと考えられる。

成長率法、米国道路局モデル、トリップポテンシャルモデルの他は、いずれも平均的な地域間結合度を推定しているので、それぞれの地区間交通量を一つの比較的単純な式で表現することによる欠点(平均的な交通量が得られること)が現われ、大きくはずれるということはないが、反面よい適合性を得ることもむづかしいようである。したがって、これらのモデルを改良する方法としては、 $\bar{R}_{ij}$  として平均的な値でなく実際の値を用いることが考えられる。これを重力モデルについて行なったのが米国道路局モデルである。しかし、このモデルでも交通パターンに大きな変化のある場合は、よい予測精度を期待することはできない。



予測精度のよいモデルは、 $\bar{R}_{ij}$  として実際の地域間結合度を用い、その地域の将来の交通パターンに適合した、式(4-3-6, 7)を満足する  $R_{ij}$  を求めることができるものでなければならないといえよう。

交通量予測モデルにおいて、交通抵抗要因  $r_{ij}$  として所要時間でなく距離を用いる場合もあるが、距離は時間の経過に対して不変と考えられる場合が多いので、所要時間の変化による交通パターンの変化を交通量に反映することができない。したがって  $r_{ij}$  としては所要時間を用いるべきである。

#### §4 予測モデルの提案

本節では、従来のモデルの問題点のいくつかを除いた新しいOD交通量予測モデルを三つ提案する。これらのうちの二つは、その基本的な考え方が同じで、§2の分類に従うと重力モデルの一つと考えることができるものである。ここではこれらを連立方程式モデル1, 2と名付ける。残る一つは、地域間結合度が大きく変わらないことを前提としたモデルで、地域間結合度モデルと名付けることにする。

##### 1. 連立方程式モデル1<sup>19)</sup>

いま現在と将来の2時点でのOD交通量がOD表として表4-2-1(a), (b)のように与えられたものとする。このとき現在から将来時点までに、ゾーン*i*から*j*へ行く交通量は  $(x_{ij} - t_{ij})$  の変化をしたことになる。この変化量を  $\Delta x_{ij}$  とすると、

$$x_{ij} = t_{ij} + \Delta x_{ij}$$

となる。したがって将来交通量  $x_{ij}$  を予測するためには  $\Delta x_{ij}$  を予測すればよい。この  $\Delta x_{ij}$  を推定するための情報としては、発生・集中交通量の予測による各ゾーンの発生・集中量の変化量  $\Delta T_i$ ,  $\Delta U_j$  しかない。そして次の関係式が成立する。

$$\sum_{j=1}^n \Delta x_{ij} = \Delta T_i, \quad \sum_{i=1}^n \Delta x_{ij} = \Delta U_j$$

いま、通勤交通を例にとって  $\Delta x_{ij} > 0$  場合について考えると、 $\Delta x_{ij}$

は現在から将来時点までに増加する交通量であり、これは次の二つの原因によるものと考えられる。その一つはゾーン  $i$  から通勤する人が増加したため、残る一つはゾーン  $j$  が吸収する通勤者が増加したためである。すなわち  $\Delta x_{ij}$  は  $i$  から発生する通勤者が増加したことによるものと、 $j$  の吸収する通勤者が増加したことによるものの二つからなると考えられる。通勤交通以外でも同様に考えることができるので、 $\Delta x_{ij}$  は  $i$  からの発生交通量の増加量  $\Delta T_i$  に比例する部分と、 $j$  への集中交通量の増加量  $\Delta U_j$  に比例する部分の和からなり、比例定数はその相手ゾーン、 $\Delta T_i$  に対しては  $j$ 、 $\Delta U_j$  に対しては  $i$  がもつ個有の値と考え、これは相手ゾーンに無関係に一定であるとする。すなわち、

$$\Delta x_{ij} = \alpha_j \Delta T_i + \beta_i \Delta U_j \quad (4-4-1)$$

が成立すると考える。式 (4-4-1) において  $\alpha_j$  は増加発生量  $\Delta T_i$  が  $j$  に吸引される力を表わし、 $\beta_i$  は増加吸収量  $\Delta U_j$  が  $i$  から吸収される力を表わしていると考えられる。この吸引係数  $\alpha_j$ 、 $\beta_i$  はゾーン  $i$ 、 $j$  がもつ個有の値であると仮定したが、通勤をはじめとして交通現象では距離すなわち所要時間を見無視することはできない。 $i$ 、 $j$  間の所要時間が大ならば当然  $i$ 、 $j$  間の交通量は小さくなることが予想される。そこで交通に対する抵抗値として OD 間の所要時間  $r_{ij}$  を導入し、式 (4-4-1) を式 (4-4-2) のように修正する。これは所要時間による交通に対する抵抗を考慮して、吸引係数を  $\alpha_j / r_{ij}^\gamma$ 、 $\beta_i / r_{ij}^\gamma$  と修正したわけである。 $\gamma$  は 2 時点既知の OD 表を用いて適当な値を決定する。

$$\Delta x_{ij} = \frac{\alpha_j}{r_{ij}^\gamma} \Delta T_i + \frac{\beta_i}{r_{ij}^\gamma} \Delta U_j \quad (\gamma: \text{定数}) \quad (4-4-2)$$

ゆえに

$$x_{ij} = t_{ij} + \frac{\alpha_j}{r_{ij}^\gamma} \Delta T_i + \frac{\beta_i}{r_{ij}^\gamma} \Delta U_j \quad (4-4-3)$$

そして各 OD 間の交通量の和は発生・集中量に一致しなければならないから、

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = \sum_{j=1}^n \left( t_{ij} + \frac{a_j}{r_{ij}} \Delta T_i + \frac{\beta_i}{r_{ij}} \Delta U_j \right) = X_i$$

$$(i=1, 2, \dots, n) \quad (4-4-4)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = \sum_{i=1}^n \left( t_{ij} + \frac{a_j}{r_{ij}} \Delta T_i + \frac{\beta_i}{r_{ij}} \Delta U_j \right) = Y_j$$

$$(j=1, 2, \dots, n) \quad (4-4-5)$$

が条件式として与えられる。また OD 交通量は必ず 0 または正でなければならない。

$$x_{ij} \geq 0 \quad (4-4-6)$$

という条件式も考えなければならない。

ここでは  $\Delta x_{ij}$ ,  $\Delta T_i$ ,  $\Delta U_j$  をすべて正と考える考察を進めてきたがこれらのいずれかが負の場合も全く同様に考えることができ、 $\Delta T_i$ ,  $\Delta U_j$  の正負にかかわらず式 (4-4-3) の仮定を採用することができる。ただし、このモデルでは、i)  $\Delta x_{ij} < 0$ ,  $\Delta T_i > 0$ ,  $\Delta U_j > 0$   
ii)  $\Delta x_{ij} > 0$ ,  $\Delta T_i < 0$ ,  $\Delta U_j < 0$  というような場合の説明は不可能である。式 (4-4-4, 5) より、

$$T_i + \Delta T_i \left( \frac{a_1}{r_{i1}} + \frac{a_2}{r_{i2}} + \dots + \frac{a_n}{r_{in}} \right) + \beta_i \left( \frac{\Delta U_1}{r_{i1}} + \frac{\Delta U_2}{r_{i2}} + \dots + \frac{\Delta U_n}{r_{in}} \right) = X_i$$

$$(i=1, 2, \dots, n)$$

$$U_j + a_j \left( \frac{\Delta T_1}{r_{1j}} + \frac{\Delta T_2}{r_{2j}} + \dots + \frac{\Delta T_n}{r_{nj}} \right) + \Delta U_j \left( \frac{\beta_1}{r_{1j}} + \frac{\beta_2}{r_{2j}} + \dots + \frac{\beta_n}{r_{nj}} \right) = Y_j$$

$$(j=1, 2, \dots, n)$$

したがって、

$$\begin{aligned} & \frac{a_1}{r_{i1}^r} + \frac{a_2}{r_{i2}^r} + \cdots + \frac{a_n}{r_{in}^r} \\ & + \frac{\beta_i}{\Delta T_i} \left( \frac{\Delta U_1}{r_{i1}^r} + \frac{\Delta U_2}{r_{i2}^r} + \cdots + \frac{\Delta U_n}{r_{in}^r} \right) = 1 \\ & (i=1, 2, \cdots, n) \end{aligned} \quad (4-4-7)$$

$$\begin{aligned} & \frac{a_j}{\Delta U_j} \left( \frac{\Delta T_1}{r_{1j}^r} + \frac{\Delta T_2}{r_{2j}^r} + \cdots + \frac{\Delta T_n}{r_{nj}^r} \right) \\ & + \frac{\beta_1}{r_{1j}^r} + \frac{\beta_2}{r_{2j}^r} + \cdots + \frac{\beta_n}{r_{nj}^r} = 1 \\ & (j=1, 2, \cdots, n) \end{aligned} \quad (4-4-8)$$

いま式(4-4-7, 8)で与えられる $2n$ 個の条件式を $a_1, a_2, \cdots, a_n, \beta_1, \beta_2, \cdots, \beta_n$ が未知数である連立一次方程式と考えると、これを解けば、条件式(4-4-4, 5)を満足する $a_j, \beta_i$ を求めることができ、これを用いると式(4-4-3)により将来時点のOD交通量 $x_{ij}$ を求めることができる。このとき $2n$ 個の条件式のうち独立なものは $(2n-1)$ 個である。したがって、この連立一次方程式では、未知数の数が独立な方程式の数より一つ多く、理論的には一意的な解を求めることができない。しかしここでは交通量推定モデルに要求される精度を考慮して、 $2n$ 番目の条件式において、集中量の変化量 $\Delta U_n$ をわずかに増減する( $\pm 0.3\%$ 以内)ことによって、 $2n$ 個の独立な条件式が与えられたと考えると、 $a_j, \beta_i$ の値を計算するのである。

ここで問題となるのは、式(4-4-3)を導いた基本的な考え方から $a_j, \beta_i$ がすべて0または正数でなければならないことと、 $x_{ij}$ が $x_{ij} \geq 0$ を満足しなければならないこととの二つである。そこで連立方程式(4-4-4, 5)が果してすべて非負の解( $a_1, \cdots, a_n, \beta_1, \cdots, \beta_n$ )を持ち得るか、もしそのような解が存在すれば、それらが得られ





(4-4-14) が成立するかどうかを考察する。

式 (4-4-13) の各式を辺々加え合せると次式 (4-4-15) を得る。

$$\begin{aligned}
 & p_1 \left\{ \frac{1}{r_{11}'} + \frac{1}{r_{12}'} + \cdots + \frac{1}{r_{1n}'} + \frac{1}{\Delta T_1} \left( \frac{\Delta U_1}{r_{11}'} + \frac{\Delta U_2}{r_{12}'} + \cdots + \frac{\Delta U_n}{r_{1n}'} \right) \right\} \\
 & + p_2 \left\{ \frac{1}{r_{21}'} + \frac{1}{r_{22}'} + \cdots + \frac{1}{r_{2n}'} + \frac{1}{\Delta T_2} \left( \frac{\Delta U_1}{r_{21}'} + \frac{\Delta U_2}{r_{22}'} + \cdots + \frac{\Delta U_n}{r_{2n}'} \right) \right\} \\
 & + \cdots \cdots \cdots \\
 & + p_n \left\{ \frac{1}{r_{n1}'} + \frac{1}{r_{n2}'} + \cdots + \frac{1}{r_{nn}'} + \frac{1}{\Delta T_n} \left( \frac{\Delta U_1}{r_{n1}'} + \frac{\Delta U_2}{r_{n2}'} + \cdots + \frac{\Delta U_n}{r_{nn}'} \right) \right\} \\
 & + q_1 \left\{ \frac{1}{\Delta U_1} \left( \frac{\Delta T_1}{r_{11}'} + \frac{\Delta T_2}{r_{21}'} + \cdots + \frac{\Delta T_n}{r_{n1}'} \right) + \frac{1}{r_{11}'} + \frac{1}{r_{21}'} + \cdots + \frac{1}{r_{n1}'} \right\} \\
 & + q_2 \left\{ \frac{1}{\Delta U_2} \left( \frac{\Delta T_1}{r_{12}'} + \frac{\Delta T_2}{r_{22}'} + \cdots + \frac{\Delta T_n}{r_{n2}'} \right) + \frac{1}{r_{12}'} + \frac{1}{r_{22}'} + \cdots + \frac{1}{r_{n2}'} \right\} \\
 & + \cdots \cdots \cdots \\
 & + q_n \left\{ \frac{1}{\Delta U_n} \left( \frac{\Delta T_1}{r_{1n}'} + \frac{\Delta T_2}{r_{2n}'} + \cdots + \frac{\Delta T_n}{r_{nn}'} \right) + \frac{1}{r_{1n}'} + \frac{1}{r_{2n}'} + \cdots + \frac{1}{r_{nn}'} \right\} \geq 0
 \end{aligned}
 \tag{4-4-15}$$

この式 (4-4-15) より、 $p_1, p_2, \cdots, p_n, q_1, q_2, \cdots, q_n$  の係数である  $\{ \}$  内の値がすべて正で、それぞれの値が等しい場合は式 (4-4-13) を満足する任意の  $P' = [p_1, p_2, \cdots, p_n, q_1, q_2, \cdots, q_n]$  に対して式 (4-4-14) が成立することがわかる。これは非常にきびしい条件であるが、十分条件であって必要十分条件ではなく、このほかにも式 (4-4-9) の解がすべて 0 または正となる場合があることは予測できる。

式 (4-4-6) は、 $\Delta T_i, \Delta U_j$  が 0 または正の場合、 $\alpha_i, \beta_j$  さえ負にならなければ満足されるが、この式が満足される一般的条件を求めることは

むつかしい。ここでは  $x_{ij}$  が負になったら、後述の修正方法を用いて  $x_{ij}$  が式 (4-4-6) を満足するように修正するという立場をとる。

## 2. 連立方程式モデル 2<sup>20)</sup>

モデル 1 では過去および現在の OD 交通量が与えられることを前提とした将来予測を検討したが、ここでは 1 時点 (現在) の OD 交通量と各ゾーンの発生・集中交通量との関係 (OD パターン) をモデル式で表現し、これを用いて将来交通量予測を行なう方法について考察する。このモデルでは推定 OD 交通量  $t'_{ij}$  はゾーン  $i$  の発生交通量  $T_i$  に比例する交通量と、ゾーン  $j$  の集中交通量  $U_j$  に比例する交通量の和で表わされ、比例定数はそれぞれゾーン  $j, i$  に個有の値であると考える。すなわち、

$$t'_{ij} = \alpha_j T_i + \beta_i U_j \quad (4-4-16)$$

このときも  $i, j$  間の交通に対する抵抗となる所要時間  $r_{ij}$  を考慮すると、式 (4-4-16) はつぎのようになる。

$$t'_{ij} = \frac{\alpha_j}{r_{ij}^\gamma} T_i + \frac{\beta_i}{r_{ij}^\gamma} U_j \quad (\alpha_j, \beta_i, \gamma: \text{定数}) \quad (4-4-17)$$

ここに  $\gamma$  は経験的に定められる定数である。そして OD 交通量の和は発生・集中交通量に一致しなければならないから、条件式として次式を得る。

$$\sum_{j=1}^n t'_{ij} = \sum_{j=1}^n \left( \frac{\alpha_j}{r_{ij}^\gamma} T_i + \frac{\beta_i}{r_{ij}^\gamma} U_j \right) = T_i \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (4-4-18)$$

$$\sum_{i=1}^n t'_{ij} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{\alpha_j}{r_{ij}^\gamma} T_i + \frac{\beta_i}{r_{ij}^\gamma} U_j \right) = U_j \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (4-4-19)$$

これを変形するとつぎのようになる。

$$\begin{aligned} \frac{\alpha_1}{r_{i1}^\gamma} + \frac{\alpha_2}{r_{i2}^\gamma} + \dots + \frac{\alpha_n}{r_{in}^\gamma} \\ + \frac{\beta_i}{T_i} \left( \frac{U_1}{r_{i1}^\gamma} + \frac{U_2}{r_{i2}^\gamma} + \dots + \frac{U_n}{r_{in}^\gamma} \right) = 1 \end{aligned} \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (4-4-20)$$



$$\frac{a_j}{U_j} \left( \frac{T_1}{r_{1j}} + \frac{T_2}{r_{2j}} + \cdots + \frac{T_n}{r_{nj}} \right) + \frac{\beta_1}{r_{1j}} + \frac{\beta_2}{r_{2j}} + \cdots + \frac{\beta_n}{r_{nj}} = 1, (j=1, 2, \dots, n)$$

(4-4-21)

したがって、このモデルではさきのモデル1で、 $t_{ij}=0$ 、 $\Delta T_i=T_i$ 、 $\Delta U_j=U_j$ とおいた場合と考えればよい。

条件式(4-4-20, 21)を( $a_1, a_2, \dots, a_n, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ )の連立一次方程式と考えて解き、 $a_j, \beta_i$ を式(4-4-17)に代入すると発生・集中交通量の条件を満足する推定値 $t_{ij}'$ を求めることができる。この場合も、モデル1と同様に $2n$ 個の条件式のうち独立なものは $(2n-1)$ 個であるから、 $2n$ 番目の条件式において、集中量 $U_n$ をわずかに増減する( $\pm 0.3\%$ 以内)ことによって、 $2n$ 個の独立条件式が与えられたと考える。 $t_{ij}'$ は $\gamma$ の値により変動するので、 $\gamma$ をいろいろ仮定してみて実績値 $t_{ij}$ に最も近い推定値を与える $\gamma$ の値を決める必要がある。その地域における発生・集中交通量は、将来もここに得た分布モデルにしたがって分布すると考えると、将来GD交通量は次式で予測することができる。

$$x_{ij} = \frac{a_j}{r_{ij}} X_i + \frac{\beta_i}{r_{ij}} Y_j$$

(4-4-22)

このモデルでもモデル1の場合と同様に、式(4-4-17)を導いた基本的な考え方から( $a_1, a_2, \dots, a_n, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ )がすべて0または正でなければならない。 $(a_1, a_2, \dots, a_n, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$ が0または正ならば、式(4-4-22)から $x_{ij}$ は当然0または正で、 $x_{ij}$ が $x_{ij} \geq 0$ という条件は考えなくてもよいことがわかる。 $(a_1, a_2, \dots, \beta_n)$ がすべて0または正になるための条件は、モデル1の場合とまったく同じなのでここでは省略する。

モデル1, 2を実際の交通量推定に適用してみると、 $a_j, \beta_i$ の一部が負値になる場合があるが、このときの推定値の実績値に対する適合度はよ

かった。したがって  $\alpha_j$ 、 $\beta_i$  は必ずしも正数でなくてもよいことがわかった。しかしこれらのモデルでは、推定交通量が負になることがあるので注意を要する

なお、モデル2においては、次のくり返し計算法を用いることにより、すべて正の交通量を推定することができる。

- (1) まず  $\alpha_j = \theta_j$ 、 $\beta_i = \tau_i$  ( $\theta_j$ 、 $\tau_i$  は経験的に与えられる正数) とする。
- (2) 次式で与えられる  $\mu_i$ 、 $\eta_j$  を計算し、これらが 1.000 にほぼ等しいかどうかを調べる。

$$\mu_i = T_i / \sum_j t'_{ij}, \eta_j = U_j / \sum_i t'_{ij}, t'_{ij} = (\alpha_j T_i + \beta_i U_j) / r_{ij}$$

- (3)  $\mu_i \div 1.00$ 、 $\eta_j \div 1.00$  であれば、そのときの  $\alpha_j$ 、 $\beta_i$  を用いて  $t'_{ij}$  を求め、これを予測交通量とする。そうでなければ、 $\alpha'_j = \eta_j \alpha_j$ 、 $\beta'_i = \mu_i \beta_i$  を計算し、 $\alpha_j$ 、 $\beta_i$  の代りに  $\alpha'_j$ 、 $\beta'_i$  を用いて(2)以下の計算をくり返す。

この方法は、 $T_i$ 、 $U_j$ 、 $t'_{ij}$  の代りに、 $\Delta T_i$ 、 $\Delta U_j$ 、 $\Delta t'_{ij}$  を用いることによって、モデル1にも適用できるが、モデル1では  $\Delta T_i$ 、 $\Delta U_j$  が負の場合があるため、 $\alpha_j$ 、 $\beta_i$  はすべて正でも  $t'_{ij}$  が負となることがある。また、この方法を用いるときは、 $\alpha_j$ 、 $\beta_i$  に最初に与える数値  $\theta_j$ 、 $\tau_i$  によって最終的に得られる  $\alpha_j$ 、 $\beta_i$  の値が異なるので注意を要する。

次に推定交通量が負になった場合の修正法を述べる。

### 3. 負の交通量の修正法

現在 OD 表を用いてモデルの適合度などを検討する段階で、負の推定交通量が出る場合は、OD 表でその交通量を含む列または行に過大予測となっている交通量  $t'_{ij}$  があるので、これに対応するゾーン間所要時間  $r_{ij}$  を  $(t'_{ij}/t_{ij})^{1/r}$   $r_{ij}$  に修正して、改めて交通量の推定を行なう。この操作を幾回くり返しても負がなくならない場合は、次式(4-4-23)によって負の交通量を0にする  $k_{ij}$  を求め、 $k = \max_{i,j} (k_{ij})$  を用いて、式(4-4-24)により推定交通量  $t''_{ij}$  を求めるものとする。この式(4-4-23, 24)を用いる方法は、トリップポテンシャルモデルで用いられるものである。<sup>21)</sup>

$$t_{ij}' + k_{ij} \frac{T_i U_j}{T} = 0, \quad t_{ij}': \text{推定交通量 (4-4-23)}$$

$$t_{ij}'' = (t_{ij}' + k \frac{T_i U_j}{T}) \times \frac{1}{(1+k)} \quad (4-4-24)$$

将来交通量の予測では、現在交通量に対して決めた  $r_{ij}$  の値を参考にして将来の  $r_{ij}$  を決め（現在の  $r_{ij}$  をそのまま用いる場合が多いが）、 $x_{ij}$  を推定し、もし負の交通量があれば、前述の式（4-4-23, 24）の  $T_i, U_j$  の代りに  $X_i, Y_j$  を用いて交通量を補正し、推定値  $x_{ij}''$  を求めこれを予測交通量とする。

式（4-4-24）を用いて交通量を補正する根拠は次に示す通りである。ゾーン  $i$  の発生量が  $T_i$ 、ゾーン  $j$  の集中量が  $U_j$ 、総交通量が  $T$  であるとき、交通量がゾーン間の結びつきや所要時間に関係なく一律に分布する場合の  $i, j$  間の交通量の推定値は  $T_i U_j / T$  である。しかし現実の交通量はゾーン間の結びつきや所要時間などの影響により、この値とは異なったものになる。そのために前述のモデル式を用いて  $T_i U_j / T$  を補正した実際の交通量を推定するわけである。ところで負の交通量が出られるのは、モデル式による補正の行き過ぎであると考えられるので、基本交通量ともいえる  $T_i U_j / T$  を用いて、式（4-4-24）により補正の行き過ぎを修正しようとするのである。 $T_i U_j / T$  で与えられる交通量はあらかじめ与えられている発生・集中量  $T_i, U_j$  に一致しているので、式（4-4-24）で与えられる交通量はあらかじめ与えられた発生・集中量に一致するものである。

#### 4. 地域間結合度モデル

本章 § 3 で検討した結果によると、交通量予測モデルはいずれも現在の地域間結合度を修正して将来の地域間結合度を推定し（第1計算）それをさらに式（4-3-6, 7）を満足するように修正している（第2計算）。各ゾーンの発生・集中量の変化の割合が異なれば、必ず地域間結合度が変化するので、その変化を推定するための各種モデルが提案されている。

ここでは、地区間所要時間に変化のない場合は地域間結合度に大きな変化がないと考えられる点と、交通量予測において現状を無視することがで

きない点を考慮して、次のような交通量予測モデルを提案する。

まず現在 OD 表から地域間結合度  $\bar{R}_{ij}$  を計算し、式 (4-3-6, 7) を満足し、かつ  $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (R_{ij} - \bar{R}_{ij})^2$  を最小にする  $R_{ij}$  を求め、これが将来の地域間結合度を与えると考える。すなわち、このモデルは、与えられた将来の発生・集中量に一致し、かつ地域間結合度が現在のそれに近い交通量を求めようとするものである。いま、ラグランジュ定数を用いると、次のようにして条件式 (4-3-6, 7) を満足し、かつ  $\bar{R}_{ij}$  に近い  $R_{ij}$  を求めることができる。

$$F = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (R_{ij} - \bar{R}_{ij})^2 - 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i \left( \sum_{j=1}^n R_{ij} b_j U_j - c T \right) \\ - 2 \sum_{j=1}^n \mu_j \left( \sum_{i=1}^n R_{ij} a_i T_i - c T \right) \quad (4-4-25)$$

$$\frac{\partial F}{\partial R_{ij}} = 2 (R_{ij} - \bar{R}_{ij}) - 2 \lambda_i b_j U_j - 2 \mu_j a_i T_i = 0$$

$$R_{ij} = \bar{R}_{ij} + \lambda_i b_j U_j + \mu_j a_i T_i = \bar{R}_{ij} + \lambda_i Y_j + \mu_j X_i \\ (i, j = 1, \dots, n) \quad (4-4-26)$$

$$\frac{\partial F}{\partial \lambda_i} = \sum_{j=1}^n R_{ij} Y_j - X = 0 \quad (i = 1, \dots, n) \\ (4-4-27)$$

$$\frac{\partial F}{\partial \mu_j} = \sum_{i=1}^n R_{ij} X_i - X = 0 \quad (j = 1, \dots, n-1) \\ (4-4-28)$$

式 (4-4-26) を式 (4-4-27, 28) に代入すると次式を得る。

$$\lambda_i \sum_{j=1}^n Y_j^2 + \sum_{j=1}^n X_i Y_j \mu_j = X - \sum_{j=1}^n \bar{R}_{ij} Y_j \quad (i = 1, \dots, n) \\ \sum_{i=1}^n X_i Y_j \lambda_i + \mu_j \sum_{i=1}^n X_i^2 = X - \sum_{i=1}^n \bar{R}_{ij} X_i \quad (j = 1, \dots, n-1) \\ (4-4-29)$$

式 (4-4-29) は  $\lambda_i, \mu_j$  に関する連立一次方程式であるから、これ

を解いて  $\lambda_i, \mu_j$  を式 (4-4-26) に代入すれば  $R_{ij}$  を求めることができる。

また所要時間  $r_{ij}$  に変化がある場合は、現在 OD 表で式 (4-3-8) により  $\bar{R}_{ij}$  を修正して、 $T_i, U_j, T$  もこれに合うように補正しておき、上の方法を適用すればよい。この方法の欠点は  $R_{ij}$  が 0 または正になること、すなわち  $x_{ij} \geq 0$  を保証できない点である。負の交通量が得られた場合は、前述 3. の修正法を用いて修正するものとする。

## 5. モデルの比較

ここに提案した三つのモデルについて比較検討してみよう。

連立方程式モデル 1 には予測式そのものにあらゆる場合を表現できないという欠陥がある。またこのモデルでは  $\gamma$  の最適値を求めるために 2 時点での OD 交通量を必要とし、モデルの予測能力を検討するためには 3 時点の OD 交通量が必要である。これに対して、連立方程式モデル 2 では 1 時点での交通量があれば最適な  $\gamma$  が求められ、予測能力の検討には 2 時点の OD 交通量があればよい。したがって、予測作業の簡便性においてはモデル 2 の方が優れているといえる。

地域間結合度モデルは地区間所要時間  $r_{ij}$  を必要とせず、また 2 時点の OD 交通量があれば予測能力の検討ができるので、モデルの簡便性では優れているが、OD パターンに大きな変化のある場合には適用できない。

次に、各モデルが地域間結合度をどのように扱っているかを検討してみる。ここでは本章 § 3 の記号を用い、各モデルが現在の地域間結合度  $\bar{R}_{ij}$  からどのようにして将来の地域間結合度  $R_{ij}$  を推定しているかを式によって示す。

### (1) 連立方程式モデル 1

$$R_{ij} = \frac{c}{a_i b_j} \bar{R}_{ij} + \left\{ \frac{\alpha_j}{r_{ij} T} (a_i - 1) T_i + \frac{\beta_i}{r_{ij} U_j} (b_j - 1) U_j \right\} \frac{c T}{a_i b_j T_i U_j}$$

### (2) 連立方程式モデル 2

$$R_{ij} = \frac{a_i \alpha_j T_i + b_j \beta_i U_j}{\alpha_j T_i + \beta_i U_j} \cdot \frac{c}{a_i b_j} \bar{R}_{ij}$$

### (3) 地域間結合度モデル

$$R_{ij} = \bar{R}_{ij} + \lambda_i b_j U_j + \mu_j a_i T_i$$

ここに、 $\lambda_i$ 、 $\mu_j$  は式 (4-4-29) により与えられる。

以上より、連立方程式モデル 2 は、交通量予測モデルを  $R_{ij} = A \bar{R}_{ij}$  と表わすとき、 $A = c/a_i$ 、 $c/b_j$  の型の 1 種と考えられ、地域間結合度モデルは  $A = 1$  のデトロイト法の型に属することがわかる。連立方程式モデル 1 は  $A = c/a_i b_j$  を基本としており、従来の方法にはこのような形の  $A$  は見当らなかった。また連立方程式モデル 1 と地域間結合度モデルは、現在の地域間結合度として実際の値を用いているが、モデル 2 は実際の値でなく、モデル式で与えられる  $t_{ij}$  を地区間交通量としたときの  $\bar{R}_{ij}$  を用いている。

## §5 モデルの適合度の検討

ここでは、京都、名古屋、大阪の各都市における昭和 40 年の区間通勤・通学者交通量を、昭和 35 年を基準年度として、成長率法、重力モデル、エントロピー法、トリップポテンシャルモデル、連立方程式法などによって予測し、その実績値に対する適合度の比較検討を試みた。

### 1. 適合度の評価法

予測モデルの予測能力の評価、検定の方法としては、次のようなものがある。<sup>22)</sup>

- (1) 実測の OD 交通量により、モデルのパラメーターの最適値を決め、このモデルで推定交通量を計算し、実測値と比較する。
- (2) 過去の 2 時点において、同じ地域、同じ条件で調査された OD 交通量を用いて、一方によって決定されたパラメーターが他方に対してどの程度有効であるかを検討する。
- (3) ある地域での OD 交通量予測式が、それと似た別の地域に対しても有効であるかどうかを調べる。

これらのうちで、(1) はモデルが説明変数によって OD 交通量を説明する能力を調べるもので、(2) と (3) はモデルの時間的および地理的普遍性を調べ、時間的および地理的予測能力を検討するものである。

ところで、予測モデルの評価は、モデルの使用目的からその将来に対する予測能力でもって行なわれるべきである。このことは、上の三つの検定方法において、(2)の検定結果がよいモデルは、(1)はもちろんのこと(3)の検定結果もよいであろうと予測できることからいえる。

モデルの評価方法は以上のようなものであるが、推定値と実績値の比較すなわち適合度の比較は何によって行なうべきであろうか。従来、このために使用されている基準は次のようなものである。<sup>23) 24) 25) 26)</sup>

- (a) 各ゾーン間の実距離または時間距離などに対する交通量の頻度分布を較べる。これによると、距離変数の変域が小さい場合は、検定の精度が悪くなる。
- (b) OD交通量の推定値の実績値に対する相対誤差を計算し、これに対するゾーンペア数の頻度分布を求め、誤差の小さなゾーンペア数が多いほどよしとする。
- (c) OD交通量を輸送網に配分し、輸送網上の交通量や渡河交通量などのスクリーンラインを通過する交通量で比較する。
- (d)  $\chi^2$  検定式の  $\chi^2$  値や平均自乗誤差などの統計量によって比較する。

$$\chi^2 = \sum_{i,j} (t_{ij} - t'_{ij})^2 / t_{ij}, \quad \text{平均自乗誤差} = \sum_{i,j} (t_{ij} - t'_{ij})^2 / n^2$$

この他に、OD表が行列として与えられていることを重視し、二つの行列のパターンの差を数量化する方法<sup>27)</sup>も考案されているが、それによる評価結果は  $\chi^2$  値によるものとあまり変わらないようである。

これらの適合度の評価法のうちで、(a)と(c)とはOD表の値をある程度統合した形で比較するので、個々のOD交通量はそれほど似ていなくても、統合することにより誤差が相殺されて評価の尺度が同値となり、両OD表は似ていると評価される場合がある。このような点を考慮して、ここでは主に(b)と(d)を用いる。すなわち、予測結果の実績値に対する適合性の良否の判定は、推定値の実績値に対する比の分布および  $\chi^2$  検定式 (4-5-1)

$$\chi^2 = \sum_{i,j=1}^n (x'_{ij} - x_{ij})^2 / x_{ij} \quad (4-5-1)$$

の値の大小によって行なう(同一都市で比較する場合は自由度が同じであ

るから) 比による判定はその平均値  $m$  と標準偏差  $\sigma$  の二つを用い、 $m$  が 1.00 に近く、 $\sigma$  が小さいほど適合度がよいと判定する。

ところで、交通量の予測では実績値との比のみならず、誤差の絶対値が小さいことを要求される。交通量の大きいゾーン間の予測値の比と小さいゾーン間の比を同等に扱うことは望ましくない。たとえば予測値が実績値の 2 倍の場合について考えてみる。実績値が 100 人なら 2 倍でも 100 人の誤差が生ずるに過ぎないが、5,000 人なら誤差は 5,000 人となる。予測値に基づいて施設計画を立案する場合、100 人の誤差なら大した問題もないが、5,000 人となると計画を大きく変更する必要が生じてくる。このような点に注目するとき、後述の如く分布関数の適合度の検定などに用いられる  $\chi^2$  の式はきわめて好都合である。そこで、式 (4-5-1) を実績値との適合性の判定に用いるが、<sup>28)</sup> 予測交通量をそのまま  $\chi^2$  検定すると、ほとんどの場合予測値は実績値に合っていないという結論になる。このため、ここでは  $\chi^2$  の値の大小により適合度の判定は行なうが、 $\chi^2$  分布による適合度の検定は問題にしない。

また、適合度の判定に誤差の平方和  $\sum_{i,j} (x_{ij}' - x_{ij})^2$  を用いることも考えられるが、ここでは次の理由によって採用しなかった。これは、誤差の絶対値を考慮しているが、予測値の実績値に対する比を無視している。そのため同じ 500 人の誤差でも実績値が 100 人のときと、5,000 人の場合では適合度が異なると判定すべきであるのに、誤差の平方和にはその違いが現われず同等に評価するので好ましくない。しかし、重力モデルなどの係数決定の際には (最小自乗法において) 誤差の平方和を適合度判定に用いている。

つぎに  $\chi^2$  検定式と比の分布の関係について考える。比の分布による適合度の判定指標には、比の 1.00 からの偏差の平方和  $R$  を用いることが考えられる。

$$R = \sum_{i,j} \left( \frac{x_{ij}'}{x_{ij}} - 1 \right)^2 = \sum_{i,j} \left( \frac{x_{ij}' - x_{ij}}{x_{ij}} \right)^2 \quad (4-5-2)$$

すなわち、 $R$  が小さいほど適合性がよいと判断するわけである。しかし、この式 (4-5-2) では  $x_{ij}$  の大小に関係なく、すべてのゾーン間交通



量の、比からみた適合性を同等に考えている。これでは前述のように適合性の判定上好ましくない。そこで、これに誤差の絶対値を反映させるために、比の1.00からの偏差の平方に交通量に比例した重み付けをして加えると、下に示すように式(4-5-1)に等しくなり、これが $\chi^2$ 検定式で

$$\sum_{i,j} \left( \frac{x_{ij}' - x_{ij}}{x_{ij}} \right)^2 x_{ij} = \chi^2 \quad (4-5-3)$$

あることがわかる。これより、 $\chi^2$ 検定式は、単に比のみならずゾーン間交通量の予測誤差の絶対値を、適合度の判定に反映させていることがわかる。ゆえに、主として $\chi^2$ の値により適合度の判定を行なう。

## 2. 通勤交通に対する適合度の検討

ここでは、京都、名古屋、大阪の各都市における昭和35、40年の区間通勤、通字者OD表を用いて、§5の前文で述べた各方法により、40年の交通量を予測し、その実績値に対する適合度の比較検討を試みた。3都市の35年の区間OD交通量および区間通勤時間を付表4-5-1~6<sup>29)~34)</sup>に示した。40年の実績値と各方法の予測値を付表4-5-7, 8, 9<sup>35)~39)</sup>に示した。そして3都市の昭和40年の予測値から計算した比の平均値および標準偏差と、 $\chi^2$ の値を表4-5-1, 2, 3に示した。これらには各モデルの係数を求めるために使用したデータの年度、相関係数をも付記しておいた。

また参考のために京都市における、各モデルによる40年の予測値から計算した比の分布状況を図4-5-1に示しておいた。

表4-5-1, 2, 3および計算過程から次のことがわかった。まず各都市別に述べる。

京都市では現在パターン法の適合度が最もよく、平均成長率法、デトロイト法、フレーター法の差はほとんどない。これに続いては連立方程式法、トリップポテンシャルモデルの適合度がよい。重力モデル法とエントロピー法は、そのモデル式の型によって異なるが、ここで計算した範囲内では $x_{ij} = k \sqrt{X_i Y_j} r_{ij}^{-r}$  (重力モデル法)、 $p_{ij}' = \alpha \sqrt{u_i v_j} r_{ij}^{-r}$  (エントロピー法)の適合度が最もよかった。現在パターン法の $\chi^2$ の値と比較すると、連立方程式法が約2倍、トリップポテンシャルモデルが約4倍、重力モデル法、エントロピー法が約9倍になっている。また重力モデ

ル法、エントロピー法の係数は、35年と40年で変わっており、特に $k$ の変化が大きい。連立方程式モデル2の $\gamma$ は、35年および40年の最適値、とともに2.30で予測モデルとして都合がよい。

名古屋市でも現在パターン法の適合度が最もよく、3モデル式の差もほとんどない。これに続いては連立方程式モデル2がよい。しかしモデル1の適合度は、重力モデル法、エントロピー法、トリップポテンシャルモデルとほぼ等しく、その推定値は実績値と相当異なっている。また重力モデル法とエントロピー法のモデル式のうちでは京都市と同様に、 $x_{ij} = k\sqrt{X_i Y_j} r_{ij}^{-\gamma}$ 、と  $p_{ij}' = \alpha \sqrt{u_i v_j} r_{ij}^{-\gamma}$  の適合度がよかった。エントロピー法で  $p_{ij}' = \alpha (u_i/v_j) r_{ij}^{-\gamma}$  を検討したら、 $x^2$  値は最小となったが、 $p_{ij}' = \alpha \sqrt{u_i v_j} r_{ij}^{-\gamma}$  との差はわずかなので、ここでは採用しなかった。現在パターン法の $x^2$ の値と比較すると、連立方程式モデル1が約1.5倍で、その他は約7~8倍である。重力モデル法、エントロピー法の係数は35年と40年で変っているが、変動はそれほど大きくない。連立方程式モデル2の $\gamma$ の最適値は、京都市と同じく、35年と40年が等しくなった。

大阪市でも前2都市と同じく、現在パターン法の適合度が最もよく、モデル式による差は小さい。これに続いて連立方程式モデル2の適合度がよく、 $x^2$ の値は現在パターン法の約3倍である。前2都市の検討により、重力モデル法およびエントロピー法のモデル式のうちでは、 $x_{ij} = k\sqrt{X_i Y_j} r_{ij}^{-\gamma}$  および  $p_{ij}' = \alpha \sqrt{u_i v_j} r_{ij}^{-\gamma}$  の適合度がよいことがわかったので、大阪市ではこれらを採用した。大阪市では前2都市と異なり、重力モデル法とトリップポテンシャルモデルの適合度が極端に悪く、エントロピー法の $x^2$ の値が現在パターン法の約5倍であるのに、重力モデル法とトリップポテンシャルモデルのそれはそれぞれ約10倍および25倍となっている。重力モデルでは、全体的に同一ゾーン内交通量が小さくなっていることから、同一ゾーン内所要時間を大きく見積り過ぎたためと思われる。しかし、他のモデルではこの所要時間で比較的よい値が得られているので、モデルごとに所要時間の算定基準を変える必要があるかもしれない。トリップポテンシャルモデルでも同一ゾーン内交通量が小さくなっている。

表4-5-1

京都市の通勤交通に対する適合度(9ゾーン)

予測モデル名	モデルの式	係数	相関係数	年度	比		x'
					平均値	$\sigma$	
平均成長率法	現在パターン法				0.970	0.121	2,129
デトロイト法					0.970	0.120	2,173
フレーター法					0.970	0.120	2,191
重力モデル→平均成長率法	$x_{ij} = k \sqrt{X_i Y_j} r_{ij}^{-\gamma}$	$k = 3.31 \times 10^{-1}$ , $\gamma = 1.831$	0.840	35年	1.230	0.302	19,703
" →デトロイト法	"	"					20,283
" →フレーター法	"	"					18,781
" →平均成長率法	$x_{ij} = k (X_i Y_j)^{\alpha} r_{ij}^{-\gamma}$	$k = 4.35 \times 10^{-1}$ , $\alpha = 0.906$ , $\gamma = 1.708$	0.890	35年	1.313	0.372	30,290
" デトロイト法	"	"			1.290	0.418	30,181
" フレーター法	"	"			1.290	0.384	23,825
" 平均成長率法	$x_{ij} = k X_i^{\alpha} Y_j^{\beta} r_{ij}^{-\gamma}$	$k = 3.00 \times 10^{-1}$ , $\alpha = 0.949$ , $\beta = 0.899$ , $\gamma = 1.711$	0.890	35年	1.311	0.370	30,002
" "	$x_{ij} = k \sqrt{X_i Y_j} r_{ij}^{-\gamma}$	$k = 2.09 \times 10^{-1}$ , $\gamma = 1.638$	0.811	40年	1.317	0.381	31,934
" "	$x_{ij} = k (X_i Y_j)^{\alpha} r_{ij}^{-\gamma}$	$k = 1.70 \times 10^{-1}$ , $\alpha = 1.040$ , $\gamma = 1.609$	0.878	40年	1.378	0.436	41,316
" "	$x_{ij} = k X_i^{\alpha} Y_j^{\beta} r_{ij}^{-\gamma}$	$k = 4.41 \times 10^{-1}$ , $\alpha = 1.605$ , $\beta = 0.850$ , $\gamma = 1.710$	0.888	40年	1.309	0.374	30,213
エントロピー法	$p'_{ij} = \alpha \sqrt{u_i v_j} r_{ij}^{-\gamma}$	$\gamma = 1.831$	0.840	35年	1.222	0.314	20,297
" "	$p'_{ij} = \alpha u_i v_j r_{ij}^{-\gamma}$	$\gamma = 1.680$	0.833	35年	1.316	0.394	32,917
" "	$p'_{ij} = \alpha \sqrt{u_i v_j} r_{ij}^{-\gamma}$	$\gamma = 1.638$	0.811	40年	1.310	0.389	32,119
" "	$p'_{ij} = \alpha u_i v_j r_{ij}^{-\gamma}$	$\gamma = 1.615$	0.826	40年	1.357	0.432	39,811
連立方程式法1		$\gamma = 2.60$			0.973	0.163	4,981
" 2		$\gamma = 2.30$		35(40)年	0.984	0.200	4,359
トリップポテンシャルモデル					1.035	0.254	8,080

表4-5-2 名古屋市の通勤、通学交通に対する適合度(14ゾーン)

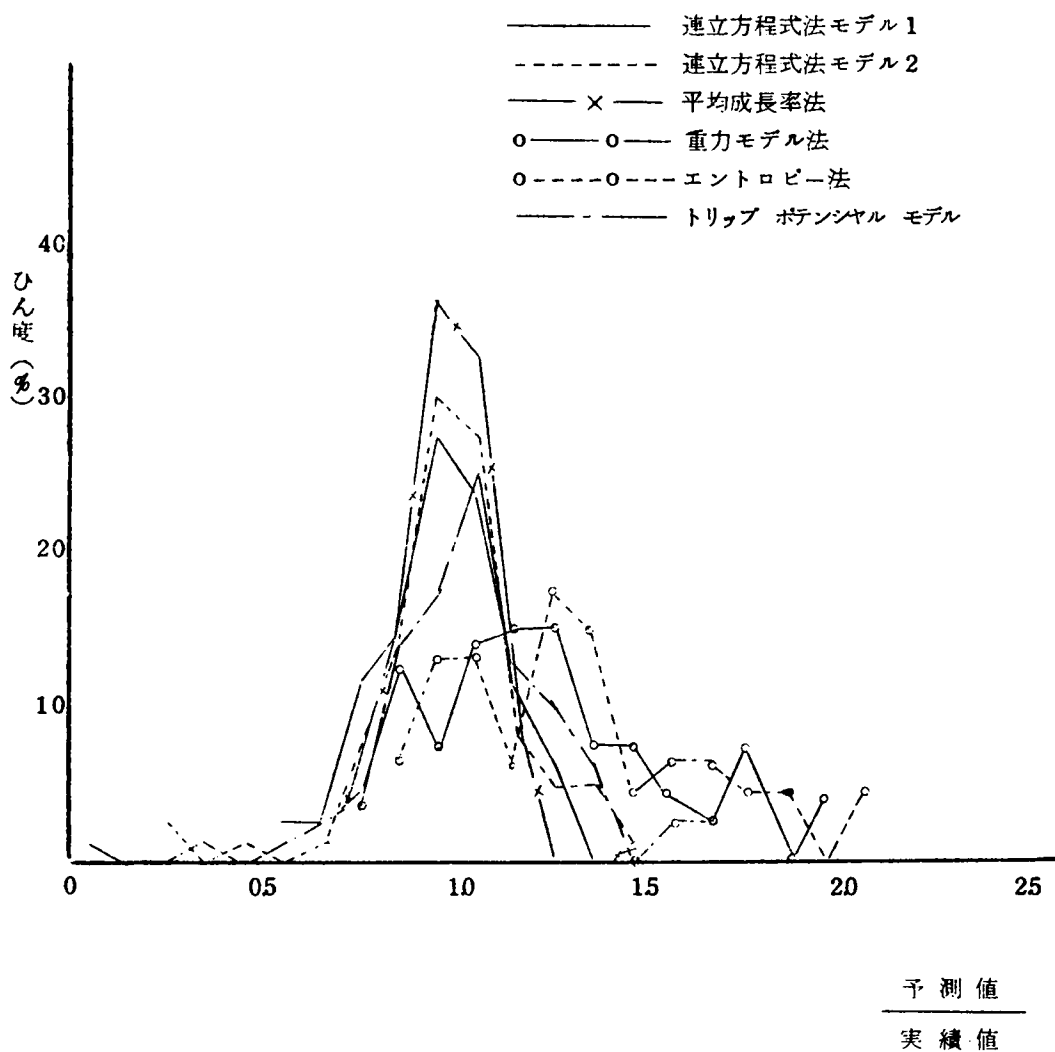
予測モデル名	モデルの式	係	数	相関係数	年 度	比		$\chi^2$
						平均値	$\sigma$	
平均成長率法	現在パターン法					0.990	0.175	13,043
デトロイト法						0.980	0.234	13,068
フレーター法						0.980	0.240	13,133
重力モデル→平均成長率法		$x_{ij} = k \sqrt{X_i Y_j} r_{ij}^{-\gamma}$	$k = 3.29 \times 10^{-2} \quad \gamma = 1.837$	0.860	35年	1.127	0.522	106,290
"		$x_{ij} = k (X_i Y_j)^{\alpha} r_{ij}^{-\gamma}$	$k = 1.54 \times 10^{-6} \quad \alpha = 0.972 \quad \gamma = 1.625$	0.938	35年	1.348	0.614	127,458
"		$x_{ij} = k X_i^{\alpha} Y_j^{\beta} r_{ij}^{-\gamma}$	$k = 543 \times 10^{-5} \quad \alpha = 0.462 \quad \beta = 1.128 \quad \gamma = 1.633$	0.949	35年	1.342	0.607	126,444
"		$x_{ij} = k \sqrt{x_i Y_j} r_{ij}^{-\gamma}$	$k = 347 \times 10^{-4} \quad \gamma = 1.662$	0.858	40年	1.288	0.607	122,180
"		$x_{ij} = k (X_i Y_j)^{\alpha} r_{ij}^{-\gamma}$	$k = 103 \times 10^{-5} \quad \alpha = 0.874 \quad \gamma = 1.524$	0.919	40年	1.445	0.694	146,691
"		$x_{ij} = k X_i^{\alpha} Y_j^{\beta} r_{ij}^{-\gamma}$	$k = 122 \times 10^{-4} \quad \alpha = 0.550 \quad \beta = 0.973 \quad \gamma = 1.624$	0.924	40年	1.447	0.693	146,929
エントロピー法	$p'_{ij} = \alpha \sqrt{u_i v_j} r_{ij}^{-\gamma}$	$\gamma = 1.837$		0.860	35年	1.125	0.516	105,220
"	$p'_{ij} = \alpha u_i v_j r_{ij}^{-\gamma}$	$\gamma = 1.612$		0.874	35年	1.337	0.632	127,925
"	$p'_{ij} = \alpha u_i v_j^{-1} r_{ij}^{-\gamma}$				35年			104,707
"	$p'_{ij} = \alpha \sqrt{u_i v_j} r_{ij}^{-\gamma}$	$\gamma = 1.662$		0.858	40年	1.287	0.599	120,550
"	$p'_{ij} = \alpha u_i v_j r_{ij}^{-\gamma}$	$\gamma = 1.478$		0.851	40年	1.478	0.740	155,480
"	$p'_{ij} = \alpha u_i v_j^{-1} r_{ij}^{-\gamma}$	$\gamma = 1.858$		0.714	40年	1.110	0.509	104,409
連立方程式法 1		$\gamma = 1.90$				1.000	0.269	18,100
" 2		$\gamma = 1.90$			35 (40) 年	1.090	0.497	106,033
トリップポテンシャルモデル						1.413	0.633	95,880

表 4-5-3 大阪市の通勤、通学交通に対する適合度 (22ゾーン)

予測モデル名	モデルの式	係数	相関係数	年度	比		$\chi^2$
					平均値	$\sigma$	
平均成長率 フレーター法	現在パターン法				1.237	0.332	35,620
					1.228	0.328	34,518
重力モデル→平均成長率法	$x_{ij} = k \sqrt{X_i Y_j} r_{ij}^{-\gamma}$	$k=4.394, \gamma=1.567$	0.774	35年	2.088	1.207	357,024
エントロピー法	$p'_{ij} = \alpha \sqrt{u_i v_j} r_{ij}^{-\gamma}$	$\gamma=1.568$	0.858	35年	1.694	0.853	160,543
連立方程式法 2		$\gamma=1.70$		35 (40) 年	1.476	0.530	108,085
トリップポテンシャルモデル					2.953	2.383	853,299

図 4-5-1

京都市昭和40年予測値の誤差の分布



つぎに予測方法別に考察する。

現在パターン法の3法の予測値はほぼ等しい。京都市における現在パターン法の適合度が特によいのは、35年から40年までの発生、集中量の伸び率およびその変動（分散）が小さく、かつゾーン数が少ないためと思われる。各都市のゾーン別伸び率の平均値  $m$  および分散  $\sigma^2$  は付表4-5-10のようである。現在パターン法では、伸び率の大きいゾーンの推定値を実績値と比較すると一般に小さくなっている。これは現在パターン法が地域に大きな構造変化のある場合、その変化に対応できない欠陥を示していると思われる。また、現在OD表において  $t_{ij} - q$ ,  $t_{i,j+k} + q$ ,  $t_{i+l,j} + q$ ,  $t_{i+l,j+k} - q$  というような変化があった場合、発生、集中量は不変なので、現在パターン法の推定値は現在値のままで、構造変化は全く無視されることになる。これに対して、構造変化が区間所要時間の短縮などにより生ずる場合なら、現在パターン法以外の方法では、これをある程度推定値に反映させることが可能である。

収束計算回数は、発生、集中量の収束率を何%（たとえば99%、99.9%）にするかによって異なる。収束率99.9%の場合は、平均成長率法の回数が最も多く、京都市の例ではデトロイト法、フレーター法の順に少なくなる。ところが名古屋ではフレーター法、デトロイト法の順に少なくなるので両法の優劣は現在ODパターンと将来発生、集中量によって決まり、<sup>40)</sup> 一般的にいうことはできない。しかし、電子計算機の発達により、これら3法を用いる限り、今日では収束の速さを問題にする必要はほとんどなくなったといえる。

重力モデル法による予測値は現在パターン法よりかなり適合度が悪い。この原因としては次のことが考えられる。第1は、重力モデル式において係数  $k$ ,  $\alpha$ ,  $\gamma$  を最小自乗法で求めたとき、 $t_{ij}$  と  $T_i$ ,  $U_j$ ,  $r_{ij}$  間の重相関係数が1.00でなかったことからわかるように、OD交通量を式(4-2-8)で完全に表現することができないことである。第2は、35年のOD表を基にして得られた係数が、40年においても変わらないと仮定していることである。第3は、ゾーン間の平均所要時間  $r_{ij}$  の5年間における変化を考慮していないことである。重力モデル式(4-2-8)の係数  $\alpha$ ,

$\beta$  の値としては  $\alpha \neq \beta$  , または  $\alpha = \beta$  として最小自乗法により決めた値と  $\alpha = \beta = 1/2$  を用いる場合では、 $\alpha = \beta = 1/2$  の適合度が最もよい。これは将来予測に際して、現状分析のゾーン分割をそのまま用いるからであろう。

OD 交通量を式 (4-2-8) で表わす場合の重相関係数は 0.770 ~ 0.950 でかなりよい相関性を示している。これは式 (4-2-8) の両辺の対数をとったときの値であるので、実際とは多少相違すると考えられるが、その影響はあまり大きくないであろう。また、相関係数について見ると、 $\alpha = \beta$  と仮定するより  $\alpha \neq \beta$  とする方が大きい、適合度にはほとんど差がない。これは、係数を多くすると現在のパターンにはよりよく適合するが、必ずしも将来を係数が少ない場合よりの確に予測するとは限らないことを示している。

つぎに、35年の係数  $k$  ,  $\alpha$  ,  $\beta$  ,  $\gamma$  を用いて40年の予測をすることの妥当性を検討するために、40年の実績値から  $k$  ,  $\alpha$  ,  $\beta$  ,  $\gamma$  を求めてみると、 $\alpha$  ,  $\beta$  ,  $\gamma$  は35年のものとほぼ等しいが、 $k$  の値が相当変化していることがわかる。したがって、35年の係数で計算した40年の分布量と実績値との差は相当大きく、これを現在パターン法で収束させても実績値に対してばらつくのは当然のことである。

またこの現在パターン法による修正量があまり大きいと、得られた最終結果は重力モデルの性質とは違ったものになる危険がある。事実表4-5-1, 2によると、40年の予測をするのに、その年の係数を用いるよりも35年のを用いたときの適合度の方がよい。この理由としては、対数をとって最小自乗法を適用していること、最小自乗法は誤差の自乗の和を最小にしているのに対して、適合度の判定は  $x^2$  の値を用いていること、係数が適切でなく、発生、集中量に一致させる際の修正量が大きすぎることの三つが考えられる。各予測値について、誤差の自乗の和  $E = \sum_{i,j} (t_{ij}' - t_{ij})^2$  を計算してみると、 $x^2$  値が大きい場合は  $E$  の値も大きくなっており、適合度判定に  $x^2$  値を用いることによる影響は小さいことがわかる。また対数をとることによる影響もそれほど大きいとは考えられない。したがって、現在パターン法で収束させる重力モデル法では、最小自乗法によって決めた係数が最適値でなく、よりよい予測値を与える係数が他に存在すると考



えるのが妥当のようである。すなわち、最小自乗法によって係数を決定することには問題があるといえる。

ではいかにして係数を定めるべきであろうか。係数の最適値は最小自乗法で得た値の近傍にあるはずだから、それぞれの係数の近傍の値を用いて適合度を検討し、最適値を求める方法しかないであろう。これも、係数の個数が少ない場合はよいが、多くなると最適値を求めることが相当めんどろになる。

エントロピー法による予測値の適合度は重力モデル法のそれとほぼ等しく、あまりよくない。これは通勤、通学交通のような特定地域間の結びつきが強く現われる交通に対して適合性が低下する本法の特質によるのであろうが、モデル式の構造が重力モデル法に似ていることから、重力モデル法と同じ原因にもよると考えられる。<sup>41)</sup>この方法でも  $p_{ij}'$  が式(4-2-29)で与えられると仮定するより、 $p_{ij}' = \alpha \sqrt{u_i v_j} r_{ij}^{-\gamma}$  とした方の適合度がよい。また、 $\gamma$  は実績値から最小自乗法により求めるのだが、同じ40年を予測するのに35年と40年の  $\gamma$  を用いると、前者の適合度がよいという結果が得られた。これは、重力モデル法の場合と同様に、 $\gamma$  を最小自乗法で決定することに起因していると思われる。エントロピー法は最小自乗法で決めた係数を用いて将来の遷移確率を求め、それを発生、集中量の条件式を満足しながら先験確率が最大となるように修正する計算方法であると考えられる。ゆえに、重力モデル法の場合と同様に、最小自乗法で決定した  $\gamma$  を用いるより、他の  $\gamma$  を用いる方が適合度のよい交通量を得る場合があり得る。また、名古屋市で  $p_{ij}' = \alpha (u_i/v_j) r_{ij}^{-\gamma}$  と仮定して、交通量を予測してみたら、 $p_{ij}' = \alpha \sqrt{u_i v_j} r_{ij}^{-\gamma}$  の場合よりも適合度がよかった。エントロピー法の式からわかるように、 $p_{ij}'$  が  $p_{ij}' = \alpha u_i^{\beta_1} v_j^{\beta_2} r_{ij}^{-\gamma}$  の形で与えられる限り、適合度に関係するのは  $\gamma$  の値であるから、 $\gamma$  をいろいろ仮定して実績値との適合度を調べ、望ましい値を決定するのがよいようである。このとき、重力モデル法では二つ以上の係数の最適値を決めなければならないのに対して、エントロピー法では  $\gamma$  のみを決めればよいので比較的容易である。

連立方程式法には二つのモデルがあるが、京都市ではモデル1、2とも、

名古屋市ではモデル1、大阪市ではモデル2の適合度がそれぞれ現在パターン法に次いでよく、この点では重力モデル法、エントロピー法より優れているといえる。しかし、モデル1を大阪市に適用すると、交通量が負となったので、この場合モデル1をそのまま適用することはできない。この方法では、ゾーン数が20以上になるか、あるいは $\gamma$ が2.0以上になると交通量が負になることがある。これが欠点である。しかし、あらかじめ与えなければならない係数は $\gamma$ だけなので、エントロピー法の場合と同様に、比較的容易に係数の最適値を決定できる。また、 $\gamma$ を変えても適合度がよくなる場合は、所要時間 $r_{ij}$ を増減すると交通量 $x_{ij}$ が減増する性質を利用して、特に適合度の悪い地区間の $r_{ij}$ を少し変え、適合度をよくすることができる。

ここでとりあげた各都市の例では、連立方程式法がよい予測値を与えたが、モデル式の構造上交通量が負となることがあるから注意を要する。しかし、所要時間 $r_{ij}$ および $\gamma$ の値が適切で、得られた交通量がすべて正なら、比較的よい予測値を与えていると考えてよいであろう。また、交通量が負となった場合も、 $r_{ij}$ を少し変えることおよび前記修正法により、適切な予測値が得られることがある。

トリップポテンシャルモデルによる予測値の適合度は、京都では比較的よいが、名古屋では重力モデル、エントロピー法と同じで、大阪では他のモデルに較べて極端に悪い。このモデルは、ゾーン数が多くなると予測精度が悪くなるようである。また全般的に同一ゾーン内交通量が小さく予測されている。そしてこのモデルでは、連立方程式法と同様に予測交通量が負になる場合があるので、これを修正する方法が与えられている。ここで計算した京都、名古屋、大阪のいずれの都市においても負の交通量が現われたので、最終予測交通量を決定するためには修正計算を行わなければならなかった。このとき最小交通量が0になるように補正するのだが、最小交通量が0になるという根拠は明らかでないので、ここに問題がある。連立方程式法でもこれと同じ修正法を用いるので、同じ問題を含んでいる。

付表4-5-7, 8, 9によると、現在パターン法以外は、いずれの方法も同一ゾーン内交通の予測値が実績値より小さくなっており、エントロピー法、重力モデル法において特にその傾向が強い。これは同一ゾーン内の平均所要

時間  $t_{ij}$  を大きく推定したためと考えられる。平均所要時間の推定についてはさらに検討する必要がある。また、各方法による予測値の差の最大値は京都で約 4,000、名古屋で約 8,000、大阪で約 17,000 人で、これだけの差をもつ地区間が 5～6 個あるから採用する方法を慎重に選ぶ必要がある。

つぎに、 $x^2$  の値の差が OD 交通量にどれほど現れるかを、名古屋と京都で重力モデル法による予測値を例にとって検討してみると、つぎのようであった。名古屋において  $x^2 = 106,290$  と  $x^2 = 122,180$  (差 15,890) の間で、京都市において、 $x^2 = 19,703$  と  $x^2 = 31,934$  (差 12,231) の間で、それぞれ交通量の差の最大値は約 3,000 人および 1,500 人であった。

この結果から、同じモデルでも適切な係数を用いるか否かによって相当差がでるので、その決定法が交通量予測において非常に重要であることがわかる。

また、予測値の実績値に対する比の平均値が 1.00 より大きい場合は、過大予測値の地区間が多く、過小予測値のそれが少ない。このとき、過大予測量の合計は過小予測量の合計に等しいので、過小 OD 交通量となる地区間の誤差が大きくなるから注意を要する。逆に、比の平均値が 1.00 より小さい場合は、過大予測地区間の誤差が大きくなる。

以上を総合すると次のことがいえる。35 年の OD 表を用いて 40 年の交通量を予測する場合、適合度は現在パターン法が最もよく、連立方程式法がこれに続き、トリップ ポテンシャル モデル、エントロピー法、重力モデル法の順に悪くなる。後二者の間には大きな差は認められず、前二者に較べると適合度が相当悪い。連立方程式法では、名古屋市の場合、モデル 2 の適合度が重力モデル法、エントロピー法と変わらず、また大阪市でモデル 1 をそのまま適用すると負の交通量が得られたので注意を要する。

また、重力モデル法およびエントロピー法の係数を求めるための従来の最小自乗法は最適値を与えないので、最小自乗法で得た係数の近傍で繰り返し計算により最適値を求めるべきである。

現在パターン法の適合度が最もよいという結果は、35 年から 40 年を

予測するのは比較的短期間の予測で、その間の交通量の変動も小さいために、得られたと考えられる。長期予測で、その間の変動が大きい場合は、現在パターン法の適合度がもっと悪くなるはずである。これに対して、その他の方法は交通パターンの変化にある程度適応できるので、それほど適合度が悪くならないであろう。

### 3. 予測モデルの構造の比較

これまで予測モデルの適合度を通勤、通学交通に対する適用例により検討してきたが、ここでは、予測モデルの具備すべき構造的な条件をあげ、各モデルがこれらをどの程度満足しているかを考察してみる。

交通量予測モデルは、所与の OD 交通量を発生、集中量によって説明するモデル式で、将来発生する交通量の変化を説明する能力が大きいものほど優れている。予測モデルにおいては、現在 OD パターンを説明することが必要最低限の条件である。なぜなら、現状を説明できないモデルが将来を的確に予測できるはずがないからである。またいかなるモデルにも将来値を現状以上に的確に予測することは期待できないから、モデルの予測能力の限界は、それを現在 OD パターンに適用することによって知ることができる。まれに、将来予測の適合度が現状に対するものよりよくなることがあるがこれは偶然であって、一般的には現状への適合度を越えることはできないと考えるのが妥当である。しかし、現状への適合度がよくても、必ずしも将来予測の適合度がよいとは限らないので、予測モデルの適合度の検討は少なくとも 2 時点で行なうべきである。

それぞれの予測モデルが既知の OD パターンの特質をいかにうまく説明しているかということは、そのモデルを既知の OD 交通量に適用した場合、得られる交通量  $t_{ij}'$  が既知交通量  $t_{ij}$  にどれだけ近い値を示すかによって測定できる。この測定指標としては、つぎの値が考えられることを既に述べた。

$$E = \sum_{i,j} (t_{ij}' - t_{ij})^2, \text{あるいは } E' = \sum_{i,j} (t_{ij}' - t_{ij})^2 / t_{ij} \quad (4-5-4)$$

このとき、予測 OD 交通量はつぎの条件を満足しなければならない。

$$\sum_j t_{ij}' = T_i, \quad \sum_i t_{ij}' = U_j, \quad t_{ij}' \geq 0 \quad (4-5-5)$$

また、将来交通量予測の場合の条件式も同じくつぎのようになる。

$$\sum_j x_{ij}' = X_i, \quad \sum_i x_{ij}' = Y_j, \quad x_{ij}' \geq 0 \quad (4-5-6)$$

OD 交通量の予測モデルは、既に述べたように交通量の発生機構を考慮するものと、全体に対する比率により個々の値を予測するものの二つに大別できる。前者には重力モデル法、エントロピー法、連立方程式法などがあり、後者には現在パターン法がある。これらのモデルは、以下に示すように、いずれも  $E$ 、 $E'$  を最小にするモデル式を用い、条件式 (4-5-6) を満足する交通量  $x_{ij}'$  を求めることを目的としている。これらは、 $E$  を最小にするモデル式を用いているので、 $x_{ij}'$  が  $x_{ij}$  に最も近い値となるであろうという推論に基づいて構成されたものである。この推論は正しい。しかし、たとえ  $E$  を最小にするモデルでもその最小値が極端に大きい場合は、予測モデルとしての基本条件“現状を説明できること”を満足していないので、使用できない。また  $E$  を最小にするモデル式の係数が容易に求められるかという問題もある。これらの点を考慮しながら、各モデルの検討を行なってみる。

現在パターン法を現在 OD 交通量に適用すると、 $E=0$  で、条件式 (4-5-5) を満足しており、将来予測値は式 (4-5-6) を満足している。しかし、この方法は現在交通量を用いて現在値を予測すると常に実績値と一致するという構造をもっているので、これだけで予測能力が大きいとは判定できない。過去の OD 交通量から現在の交通量を予測し、このときの  $t_{ij}'$  と  $t_{ij}$  を比較して、OD パターンの特質をどれほどとらえているかを判定すべきである。

重力モデル法では、現在交通量から  $E$  の最小値を与える係数を求めるが、条件式 (4-5-5) は満足していない。したがって、どれだけ OD パターンの特性をとらえたかは、(相関係数である程度わかるが) 現在パターン法で条件式 (4-5-5) を満足せしめ、 $E$  の値を求めてみなければわからない。また、将来予測値も現在パターン法により式 (4-5-6) を満足せしめる。条件式 (4-5-5) を満足し、かつ  $E$  を最小にする係数

が求められればよいのだが、このような係数は存在しない。適用例で検討の結果、 $E$ を最小にする係数による予測値の適合度が最良でないことがわかったので、くり返し計算により最適な係数を求める必要がある。

エントロピー法では、 $E$ でなく、遷移確率の誤差が最小となる係数 $\gamma$ を現在交通量から決定する。この段階では式(4-5-5)は満足していないが、将来予測値は式(4-5-6)を満足している。重力モデル法と同様に、式(4-5-5)を満足していないのでどれだけODパターンの特徴を採り入れたかを知るには、現在交通量にこの方法を適用し、 $E$ を計算してみなければならない。適用例によると、前記の方法による係数が必ずしも最適でないことがわかったので、くり返し計算により最適値を求めるべきであろう。

以上により重力モデル法とエントロピー法においては、係数決定に際して従来の最小自乗法を用いる限り、現状を最もうまく説明すると考えられるモデル式が必ずしも将来を最も的確に予測するものでないことがわかった。

連立方程式法は、条件式(4-5-5)を満足し、かつ $E'$ を最小にする $\gamma$ を求めている。これによる予測値は式(4-5-6)の前2式を満足しているが、 $x_{ij} \geq 0$ を満足するという保証はない。 $x_{ij} \geq 0$ を満足するために、修正計算を必要とすることがある。

トリップポテンシャルモデルでは、現在交通量 $t_{ij}$ を用いて $E=E'=0$ となる修正項 $\bar{e}_{ij}$ を計算し、これよりネットワークパラメーター $\bar{r}_{ij}$ を決めているので、条件式(4-5-5)を常に満足しているが、現在パターン法と同様に、これをもって現状を説明する能力が大きいと断定することはできない。このモデルの予測能力は、過去のOD交通量から現在の交通量を予測して予測値と実績値を比較してみなければわからない。ネットワークパラメーター $\bar{r}_{ij}$ は将来も変わらないものと考えて予測値 $x_{ij}$ を求めている。この予測値は式(4-5-6)の前2式を満足しているが、 $x_{ij} \geq 0$ を満足する保証がないので、修正計算法により $x_{ij} \geq 0$ を満足せしめる。この修正計算法は最小交通量が0となるように修正するものだが、最小交通量が0となることの理論的根拠は明らかでない。また

適用例によると、ゾーン数が多くなると予測精度が悪くなる傾向があるので注意を要する。

OD 交通量の予測方法は、式 (4-5-5) を満足し、かつ  $E$ ,  $E'$  を最小にするもので、その最小値が小さく、将来予測においては、式 (4-5-6) を満足し、モデルの係数の決定が容易で、しかも OD パターンの構造変化に適応できるものが最も望ましい。しかし、表 4-5-1, 2, 3, において、各モデルを適用したときの相関係数が 1.00 にならないことからわかるように、重力モデル、エントロピー法を用いる場合、式 (4-5-5) を満足する係数は存在しない。これらのモデルでは、係数が 2 ~ 4 個があるのに、発生量と集中量が与えられていることによる条件式は  $2n - 1$  個ある。したがって、条件式を満足する係数を求めることは、未知数の数より方程式の数が多いたる連立方程式を解くことになり、一般には解が存在しないということになる。このために、次適の手段として、従来行なわれている方法が考えられたものと思う。このような矛盾を解決することを目的として考案したのが、連立方程式法であるが、現在の段階ではまだ目的を達成したとはいえない。

また OD 交通量予測モデルの構造は次のように考えることができる。予測モデルにおいては、まずモデル式を用いて将来の基本交通量ともいべき値を推定し、つぎにこれらの値が発生、集中量に一致するように修正する。ここでは前者を第 1 計算、後者を第 2 計算と名付けることにする。本章 § 3 で地域間結合度を用いて予測モデル式の構造を示したのは、いずれもこの第 1 計算の方法を式で示したものである。

予測モデルをこのような考え方でとらえて比較検討すると、次ぎのようことがわかる。従来のモデルの第 1 計算法は、モデル式を  $R_{ij} = A \bar{R}_{ij}$  と表わすとき、既に述べたように  $A_1 = \frac{c}{a_i} \cdot \frac{c}{b_j} \cdot \frac{c}{\sqrt{a_i b_j}}$  および  $A_2 = 1$  の二つの型に大別できる。第 2 計算法には、成長率法および重力モデル法で用いる修正係数による方法、エントロピー法の方法、トリップポテンシャルモデルの方法、連立方程式モデルの方法、地域間結合度モデルの方法などがある。これらのうちエントロピー法と地域間結合度モデルの方法はよく似ている。前者は生起確率を最大にすることを、後者

は現在のものに最も近い地域間結合度を求めることを目的としているのが違うだけで、数学的解法は同じである。

第1計算法の優劣を決定するのはむづかしいが、定性的には得られる情報をすべて考慮しているという意味において、 $c, a_i, b_j$  をすべて含み、しかも交通量が一樣に変化した場合に地域間結合度が変わらないモデル式が望ましいと考えられる。

第2計算法のうち、修正係数を用いる方法、トリップポテンシャルモデルおよび連立方程式モデルの方法は、交通量を発生、集中量に一致させることを目的としているだけで、計算法そのものの持つ意味は特別にない。これに対してエントロピー法および地域間結合度モデルの第2計算法は、その持つ意味が同時確率最大、現在の地域間結合度に近づけることなどとははっきりしているので、それにより得られるODパターンの意味も他の方法に比較してはっきりしているといえる。ただし、両モデルとも、仮定したOD交通量の先験確率および現在の地域間結合度  $\bar{R}_{ij}$  がどの程度将来の真のODパターンを表わしているかが問題となる。しかし、これらにおいては、先験確率を与える式および  $\bar{R}_{ij}$  の値と得られるODパターンとの関係が明確であるので、先験確率および  $\bar{R}_{ij}$  の与え方を改善することによって、よりよい予測モデルにすることが比較的容易であるのは優れた点といえよう。そしてODパターンのもつ意味では、同時確率最大の方が現在の地域間結合度に近いことより、合理性があるといえよう。またエントロピー法では対象地域の一体性を前提とした交通量が得られることにも注目すべきであろう。

モデルの構造と適合度の関係についてみると、第1および第2計算法の違いによる適合度の差はあまり認められず、第1計算法で、現在の地域間結合度として実際の値を用いるか平均的な値を用いるかによって適合性に差が生じているようである。なぜなら実際の地域間結合度を用いるモデルすなわち  $E = E' = 0$  を満足するモデルはほとんど適合度がよいのに、平均的な地域間結合度を用いるモデルは全般的に適合度が悪いからである。

最後に、以上の考察に基づいて将来交通量の予測の際に問題となる次の各項目に関する予測モデルの比較表、表4-5-4を作成し、それぞれの



表4-5-4

交通量予測モデルの比較表

	現在パターン法	重 力 モ デ ル		確 率 モ デ ル		エントロピー法	トリップポテンシャルモデル	連立方程式法		地域開発結合 モデル
		重力モデル修正モデル	相互作用モデル	介入機会モデル	混合機会モデル			モデル1	モデル2	
1. 完全なOD調査を必要とするか。	必要	不要	必要	必要	必要	不要	必要	必要	不要	必要
2. 所要時間を必要とするか。	不要	必要	必要	必要	必要	必要	不要	必要	必要	不要
3. パラメーターの決定の難易の度合はどうか。	—	普通	—	難かしい	—	普通	—	普通	普通	—
4. 発生、集中量の条件を満足するためにより返し計算を必要とするか。	必要	必要	必要	必要	必要	不要	不要	不要	不要	不要
5. 交通パターンの変化に対応できるか。	不詳※	可能	可能	可能	可能	可能	ある程度可能※※	可能	可能	可能※
6. 現在と推定時のゾーン分割を同一にする必要があるか。	必要	不要	必要	不要	不要	不要	必要	必要	不要	必要

(注) ※ 所要時間の変化によるパターン変化には対応できないが、不可能と断定することはできない。

※※ある程度可能とするためには、所要時間を必要とする。

モデルの特徴を明らかにしておく。

- 1) 将来予測に用いる際に、現在の完全な OD 表を必要とするか。
- 2) 所要時間などの交通抵抗要因の値を必要とするか。
- 3) パラメーターの決定の難しさ はどの程度か。
- 4) 予測交通量をあらかじめ与えられている発生、集中量に一致させるために、くり返し計算を必要とするか。
- 5) 交通パターンの変化に対応できるか。
- 6) 予測の基本となる現在のゾーン分割と予測時点のそれを同一にする必要があるか。

## § 6 結 語

ここでは、地区間の通勤、通学輸送需要を予測するための OD 交通量予測モデルについて、モデルの構造およびその実績値に対する適合度などの比較検討を行ない、これらを将来交通量の予測に用いる際の指針を与えた。

本章では、まず従来開発されたほとんどのモデルを採り上げ、それらの利害得失を述べ、さらに地域間結合度を定義し、各モデル式がこれをどのように扱っているかを検討した。これにより従来行なわれなかった予測モデル式の構造の統一的な分類が可能となった。また各モデルが交通パターンをどのようにとらえているかをある程度明らかにすることができた。

つぎに新しい OD 交通量予測モデルとして、連立方程式モデル 1, 2 および地域間結合度モデルの三つを提案した。そして成長率法、重力モデル法、エントロピー法、トリップ ポテンシャル モデル、連立方程式モデル 1, 2 を京都、名古屋、大阪の各都市の昭和 40 年の通勤、通学交通量の予測に適用し、実績値に対する適合度を比較検討した。また各予測モデルの構造を、モデル式で将来交通量の第 1 近似値を求めるための第 1 計算と、その交通量を発生、集中量に一致させるための計算法である第 2 計算に分解し、それぞれについて検討した。さらに、モデルを将来交通量予測に適用するための指針を与えるために、予測モデルを適用するための必要資料、交通パターンの変化に対する適応性、現在と推定時のゾーン分割一致の必要性などのモデルを適用する際に考慮しなければならない点に関する比較表を作成した。本章

の考察から得られたことを示すと次のようである。

1. OD 交通量予測モデルの基本式を地域間結合度  $R_{ij}$  を用いて表わすと、平均成長率法の型とデトロイト法の型に分類され、ほとんどのモデルが前者に属し、後者に属するのは、エントロピー法、トリップ ポテンシャル モデル、地域間結合度モデルの三つである。
2. 予測モデルによる推定値の実績値に対する適合度の評価法にはいくつかあるが、相対誤差と誤差の絶対値の両者を合せて考慮している点において、式(4-5-1)で与えられる  $x^2$  値を用いるのが望ましい。
3. 現在パターン法は、OD パターンの変化が小さい場合にきわめてよい予測値を与えるが、変化の大きい場合は精度が悪くなる。
4. 重力モデル法では、最小自乗法が係数の最適値を与えないので、最小自乗法で得られた係数の近傍値を用いて、くり返し計算により、適合度を最もよくする係数  $k$ 、 $\gamma$  の値を決定すべきである。モデル式としては、 $x_{ij} = k\sqrt{X_i Y_j} r_{ij}^{-\gamma}$  の適合度がよい。
5. エントロピー法でも、重力モデル法と同様に、最小自乗法が係数の最適値を与えないので、最小自乗法で得られた係数の近傍値を用いて、くり返し計算により、適合度を最もよくする係数の値を決定すべきである。モデル式としては、 $p_{ij}' = \alpha\sqrt{u_i v_j} r_{ij}^{-\gamma}$  の適合度がよい。
6. 連立方程式法では、交通量が負になる場合がある（特にゾーン数が20以上あるいは  $\gamma$  が2.0以上のときに発生し易い）ので注意を要する。また、モデル1, 2の適合度は都市によって異なり、両者の優劣を断定することはできない。都市ごとに適合度のよい方を採用すると、この方法による予測値の適合度は、重力モデル法、エントロピー法などのものより相当よい。
7. 交通パターンの変化が小さいと思われる昭和35年と40年の交通量を用いた検討によると、トリップ ポテンシャル モデルの適合度は、ゾーン数が比較的少ない（15以下）ときは現在パターン法、連立方程式法に続いてよいが、ゾーン数が多くなると悪くなる。またこのモデルでは負の交通量が与えられることがあり、これを補正するための最小交通量を0にする修正法には問題がある。このことは、同じ修正法を採用している連立方程式法についてもいえる。
8. 予測モデルの実績値に対する適合性を検討する場合に、現在パターン法

では適合度が悪くてもこれをよくすることは不可能であるが、重力モデル法、エントロピー法、連立方程式法などでは交通量の説明変数としてゾーン間所要時間  $r_{ij}$  を用いているので、これをその変動範囲内で適当に変えることにより、適合度をよくすることができる。トリップポテンシャルモデルでも、ネットワークパラメーター  $r_{ij}$  変えること（これは相当むづかしいが）により適合度をよくすることができる。これは、現在パターン法はパターン変化に対応しにくい、その他はある程度パターン変化に対応できることを表わしている。このとき  $r_{ij}$  の変化と交通量  $t_{ij}$  の変動量の関係が明確なモデルほど  $r_{ij}$  の変化とパターン変化の関係をとらえ易いので、将来交通量予測においては都合がよい。

9. 重力モデルの適合度がよい所要時間  $r_{ij}$  が必ずしもエントロピー法、連立方程式法の適合度をよくするとは限らないという問題がある。本研究では、ゾーン中心間の平均所要時間を  $r_{ij}$  としたが、ここで得られた結果も付表4-5-4, 5, 6の  $r_{ij}$  を用いたときの適合度の比較であって、別の所要時間算定基準により求めた  $r_{ij}$  を用いると、重力モデル法、エントロピー法、連立方程式法の適合度のよさの順位は変わる可能性がある。これは所要時間  $r_{ij}$  の算定基準を一般的に決められないためであり、ゾーンをもっと細かく分割した各ゾーン間の平均所要時間を明確にとらえられるOD表を用いて、さらに検討する必要がある。
10. ここで得られた結果は、通勤および通学、通学交通量を用いた場合のものであるから、別の交通目的すなわち業務、買物、観光などのOD交通量を用いると、予測モデルの適合度の順序が異なることがある。
11. 適合度の判定基準として、主に  $x^2$  の値を用いたが、 $x^2$  値による判定が絶対ではないので、もちろん予測値の実績値に対する比も考慮されなければならない。表4-5-1, 2, 3によると、比の平均値が1.00から離れており、その分散が大きい予測値では一般に  $x^2$  の値も大きい、この関係が逆になる場合もある。これは  $x^2$  値が誤差の絶対値を反映しているためである。しかし、このような現象は  $x^2$  の値の差が小さく、適合度がほぼ等しい予測値の間においてまれに見られるだけであるので、一般には  $x^2$  値による適合度の判定は比による判定と一致すると考えられる。ゆえに、

OD 交通量の予測値の実績値に対する適合度の判定は  $\chi^2$  の値によって行なえばよい。

12. OD 交通量の予測モデルをその構造（第2計算法）により比較すると、モデルによって得られる OD パターンのもつ意味がはっきりしており、かつその意味に合理性がある点ではエントロピー法が最も優れている。しかしこのことが必ずしも予測精度のよいことを意味していない点に注意する必要がある。
13. 比較的短期間の予測ではモデルによる推定値の実績値に対する適合度は、第1および第2計算の計算方法そのものにはあまり関係せず、第1計算で、現在の地域間結合度として平均的な値でなく実際の値を用いるモデルの適合性がよい。

以上を総合するとつぎのことがいえる。

交通量の予測に際して、交通パターンの変化が小さい場合は、現在パターン法を用いるべきである。そして、交通パターン変化が大きいと推測される場合は、パターン変化にある程度適応できる重力モデル法、エントロピー法、連立方程式法などを用いるべきである。これらのうちのいずれが最もよいかは断定できないので、前述した各方法の問題点および適用条件に関する比較結果を十分考慮した上で、実績値を用いて適合度を検討し、その地域および交通目的に最も適した方法を採用するのが得策と考えられる。

## 参 考 文 献

- 1) 米谷栄二, 渡辺新三, 毛利正光: 交通工学, 国民科学社, pp. 175~177, 昭和40年3月。
- 2) B. V. Martin, F. W. Memmott and A. J. Bone : Principles and Techniques of Predicting Future Demand for Urban Area Transportation, M. I. T. Press, pp. 126~152, July 1966。
- 3) K. R. Overgaard 著佐佐木綱訳: 都市運輸計画における交通量推定, 関西鉄道協会都市交通研究所, 1962年2月。
- 4) 佐佐木綱: 道路交通量の推定について, 道路、交通工学における最近の諸問題, 土木学会関西支部, 昭和41年12月。
- 5) 佐々木恒一, 小林八一: 道路交通量の推定, 交通日本社, pp. 71~81, 昭和37年10月。
- 6) L. F. Butas : Simultaneous Differential Equations for Trip Distributions, Traffic Quarterly, pp. 248~267 April 1966。
- 7) R. T. Howe : A Theoretical Prediction of Work - Trip Patterns, HRB Bulletin 253, pp. 155~166, 1960。
- 8) W. L. Grecco and S. M. Breuning : Application of Systems Engineering Methods to Traffic Forecasting, HRB Bulletin 347, pp. 10~23, Jan. 1962。
- 9) F. H. Wynn and C. E. Linder : Tests of Interactance Formulas Derived From O-D Data, HRB Bulletin 253, pp. 62~85, 1960。
- 10) 前掲 2) pp. 149~150。
- 11) A. R. Tomazinis : A New Method of Trip Distribution in an Urban Area, HRB Bulletin 347, pp. 77~99, 1962。
- 12) 佐佐木綱: トリップのOD分布を求める確率論的方法, 交通工学, Vol. 2, No. 6, pp. 12~21, 昭和42年11月。

- 13) T. Sasaki : Probabilistic Models for Trip  
Distribution, Annual Report of Roads 1967, Japan  
Road Association, pp. 121~134。
- 14) T. Sasaki : Probability Methods to Estimate Trip  
Distributions, Proceedings of The Nth International  
Symposium on the Theory of Traffic Flow, 1968。
- 15) 佐佐木綱, 明神証 : 都市高速道路網における流入車制御理論, 交通工学 Vol. 3,  
No. 3, pp. 8~16, 昭和43年5月。
- 16) 佐佐木綱, 飯田恭敬 : ランプにおける流入・流出量からランプ間交通量を推定する方  
法, 道路, 昭和43年10月号, pp. 76~82, 昭和43年10月。
- 17) T. Sasaki and K. Kagawa : Some Theoretical Aspects of  
Car Trips Within Urban Area, Memoirs of the Faculty  
of Eng. Kyoto Univ., Vol. 28 Part 2, pp. 165~182,  
April 1966。
- 18) P. S. Loubal and R. B. Potts : A Mathematical Model  
for Trip Distribution, ITTE, Univ. of California,  
Dec. 1967。
- 19) 河上省吾 : 通勤・通学輸送需要の予測について, 土木学会論文集, 第145号,  
pp. 33~46, 昭和42年10月。
- 20) 前掲 19) に同じ。
- 21) 前掲 18) に同じ。
- 22) 湧井哲夫 : 分布交通量モデルの評価基準について, 第23回年次学術講演概要第Ⅳ  
部門, pp. 379~380, 昭和43年10月。
- 23) K. E. Heanue and C. E. Pyers : A Comparative  
Evaluation of Trip Distribution Procedures, Public  
Roads, Vol. 34, No. 2, pp. 43~51, June 1966。
- 24) H. C. Lawson and J. A. Dearing : A Comparison of Four  
Work Trip Distribution Models, Proc. of ASCE, Vol. 93,  
No. HW2, pp. 2~25, Nov. 1967。
- 25) W. G. Hansen : Evaluation of Gravity Model Trip

Distribution Procedures, HRB Bulletin 347,  
pp. 67~76, 1962。

- 26) 前掲 22) に同じ。
- 27) 前掲 22) に同じ。
- 28) 米谷栄二, 定井喜明 : 交通工学のための推計学, 国民科学社, 昭和41年4月。
- 29) 京都市行政局統計課 : 京都市勢統計年鑑, 昭和35, 36, 37年版, 京都市役所, 昭和36年4月, 37年4月, 38年4月。
- 30) 京都市行政局統計課 : 京都市統計書, 昭和41年版, 京都市役所, 昭和42年1月。
- 31) 名古屋市総務局統計課 : 名古屋市統計年鑑, 昭和36, 37年版, 名古屋市, 昭和37年3月, 38年3月。
- 32) 名古屋市総務局統計課 : 昼間人口調査, 昭和35年, 昭和36年3月。
- 33) 名古屋市 : 名古屋の人口-昭和35年国勢調査地方集計, 昭和37年3月。
- 34) 総理府統計局 : 昭和35年国勢調査報告第3巻全国編その3, 昭和39年3月。
- 35) 京都市統計解析センター : 京都市の流動人口, 昭和41年6月。
- 36) 名古屋市 : 昼間人口調査, 昭和40年, 昭和41年6月。
- 37) 名古屋市総務局統計課 : 名古屋市統計年鑑, 昭和41, 42年版, 名古屋市, 昭和42年3月, 43年3月。
- 38) 大阪市総合計画局 : 昭和40年大阪市昼間人口調査結果, 昭和41年3月。
- 39) 総理府統計局 : 昭和40年国勢調査報告第4巻その27, 昭和42年3月。
- 40) 毛利正光, 河上省吾, 小池明夫 : 分布交通量の予測モデルに関する一考察, 第22回土木学会年次学術講演会講演概要第IV部, 昭和42年5月。
- 41) 前掲 12) に同じ。
- 42) 細井昌晴 : 交通量の予測, 技術書院, 昭和41年9月。
- 43) 天野光三 : 都市通勤交通需要の推計に関する方法論的研究, 昭和40年10月。



## 第5章 輸送機関別および経路別交通量の予測

### §1 概 説

都市内の旅客輸送計画の策定に際して、2地点間の輸送需要が、その間にあるいくつかの輸送機関および経路にどのように分布するかを推定する必要がある。この旅客の輸送機関別および経路別分布比率をそれぞれ輸送機関別分担率および経路別分担率とよぶ。両者は、旅客の分布比率を算定する基準が輸送機関別か経路別かによって異なるだけで、本質的には同一と考えられる。経路別分担率がわかれば、これにより輸送機関別分担率を推定することが可能であるので、ここでは経路別分担率に重点を置いて考察する。

本章では、まず従来の輸送機関別および経路別分担率の推定法について述べ、つぎに名古屋市の通勤、通学者に対して行なったアンケート調査を分析し、輸送機関別および経路別分担率に影響する要因を調べ、これらを説明変数とする予測モデルを提案する。このとき経路別分担率の予測モデルについては、モデルの具備すべき条件を検討し、これを満足するモデルを開発するそしてこのモデルをアンケート調査で得た資料に適用し、予測モデルとしての有用性を検証する。

### §2 従来の輸送機関別および経路別分担率の推定法

#### 1. 輸送機関別分担率<sup>1)</sup>

過去においては、発生交通量の予測の段階から輸送機関別に輸送需要を求めたり、あるいは予測した発生交通量を目的地へ分布させる前に、自動車保有率その他と輸送機関別分担率との関係を用いて分担率を推定することも行なわれたが、ここでは第1章で述べた交通計画のシステム・チャートに従って、地区間交通量が与えられた段階で輸送機関別分担を考える場合について考察する。

従来の輸送機関別分担率の推定法を簡単に述べると次のようである。

- (1) ゾーン間の距離と分担率の関係を調査し、図示して将来予測に用いる。

- (2) 輸送機関  $i$  の分担率を  $P_i$  とするとき、 $P_i$  は次式で与えられると考える。

$$P_i = \frac{A_i}{\sum_{j=1}^n A_j} \quad (5-2-1)$$

ここに、 $A_i = k f(U_i)$  : 輸送機関  $i$  の吸引力、 $U_i$  : 輸送機関  $i$  の時間価値を含んだ旅行費用、 $A_i$  の 1 例としては  $k U_i^\alpha$  がある。

$k$  : 定数、 $n$  : 輸送機関の数

- (3) 自動車と大量輸送機関の分担率を推定する際に両者の輸送時間比および費用比と分担率の関係をグラフに表わしたものをを用いる方法がある。
- (4) 輸送機関利用者を何らかの理由により一つの機関しか利用できない人と、二つ以上の機関を利用することが可能な人に分類し、後者の大量輸送機関を選ぶ比率  $P_i$  を次式で推定する。2)、3)

$$P_i = \frac{e^{f(x, k)}}{1 + e^{f(x, k)}} \quad (5-2-2)$$

ここで、

$$f(x, k) = \ln k_0 + k_1 \ln \frac{T_1}{T_2} + k_2 \ln \frac{U_1}{U_2} + k_3 \ln I_1 + k_4 \ln I_2 + k_5 \frac{R \ln I}{A}$$

$k_0 \sim k_5$  : 観測により決定される定数 (5-2-3)

$T_1 / T_2$  : 自動車と大量輸送機関の輸送時間比

$U_1 / U_2$  : 自動車と大量輸送機関の輸送費用比

$I_1, I_2$  : 所得水準  $I$  の関数

$R$  : 世帯当りの 16 才以上の人口

$A$  : 世帯当りの自動車台数

$e$  : 自然対数  $\ln$  の底

- (5) 二種類の輸送機関の間の分担率を輸送時間および費用を要因とする判

別関数を用いて推定する方法もある。<sup>4)</sup>

## 2 経路別分担率

従来の経路別分担率の推定法には次のようなものがある。

### (1) カノニカル分布を用いる方法<sup>5)</sup>

この方法では経路別分担率  $P_i$  ( $i=1, 2$ ) を次のようにして求めている。  
まず経路 1, 2 の所要時間を  $x_1, x_2$  とするとき、両経路の利用者数  $T_1, T_2$  は次式で与えられると考える。

$$\begin{aligned} T_1 &= K \exp\left(-\frac{x_1}{R}\right) \\ T_2 &= K \exp\left(-\frac{x_2}{R}\right) \end{aligned} \quad (5-2-4)$$

ここに、 $K, R$  : 定数

このとき、 $P_1$  は次式で与えられる。

$$P_1 = \frac{T_1}{T_1 + T_2} = \frac{1}{1 + \exp\left\{-\frac{x_2 - x_1}{R}\right\}} \quad (5-2-5)$$

この方法では、上式 (5-2-5) によつて経路別分担率を予測する。

### (2) 判別関数による方法<sup>6)</sup>

この方法では二つの経路を考え、経路選定理由としては運賃、所要時間、乗換え回数、徒歩時間などを採り上げ、これらを  $x_j$  ( $j=1 \sim 4$ ) で表わす。そして各経路の利用者について、それぞれ  $x_j$  の値を調査する。経路 1 の  $i$  番目の利用者の  $x_j$  を  $x_{ij}^1$ 、経路 2 のそれを  $x_{ij}^2$  とし、

$$d_{ij} = x_{ij}^1 - x_{ij}^2$$

と置いて、次式で与えられる  $y$  を定義する。

$$y = a_1 d_{i1} + a_2 d_{i2} + a_3 d_{i3} + a_4 d_{i4} \quad (5-2-6)$$

ここに、 $a_1 \sim a_4$  は定数で、次のようにして決定する。経路 1 の利用者の  $y$  の値を  $y_1$ 、経路 2 の利用者のそれを  $y_2$  とするとき、

$$\frac{E(y_1) - E(y_2)}{V(y_1) + V(y_2)}$$

を最大にする  $a_j$  を求める。

ここに、 $E$  は平均値を、 $V$  は分散を表わす。

そして、 $y_1$ 、 $y_2$  はそれぞれ正規分布  $f_1(y)$ 、 $f_2(y)$  に従って分布していると仮定すると、 $y$  を用いて次式によって与えられる  $y_0$  を境にして利用者を経路 1、2 の利用者グループに分類することができる。

$$\int_{-\infty}^{y_0} f_1(y) dy = \int_{y_0}^{\infty} f_2(y) dy \quad (5-2-7)$$

すなわち、 $E(y_1) > E(y_2)$  のとき、

$y - y_0 > 0$  ならば経路 1 を選ぶ

$y - y_0 < 0$  ならば経路 2 を選ぶ

と判定する。

### (3) 重回帰モデル 7), 8), 9)

経路選定要因として、各経路の所要時間、運賃、乗換え回数を採り上げ、これらをそれぞれ  $x_i$ 、 $y_i$ 、 $z_i$  ( $i$  は経路を表わす) で表わす。

そして経路  $i$  と経路  $j$  の各要因の値の差をそれぞれ、 $x_{ij}$ 、 $y_{ij}$ 、 $z_{ij}$  で表わす。すなわち  $x_{ij} = x_i - x_j$ 、 $y_{ij} = y_i - y_j$ 、 $z_{ij} = z_i - z_j$  である。

これらの記号を用いると従来用いられている重回帰モデルは次のように表わせる。なお、 $P_i$  は経路  $i$  の分担率を表わす。

$$1) \quad P_i = ax_{i1} + by_{i1} + cz_{i1} + d \quad (5-2-8)$$

$$2) \quad P_i = ax_{i1} + by_{i1} + cz_{i1} + \frac{1}{2} \quad (2 \text{ 経路の場合}) \quad (5-2-9)$$

$$3) \quad P_i = a(\bar{x} - x_i) + b(\bar{y} - y_i) + c(\bar{z} - z_i) + \frac{1}{n} \quad (5-2-10)$$

ここに、経路数を  $n$  とすると、

$$\bar{x} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n} \quad \bar{y} = \frac{\sum_{j=1}^n y_j}{n} \quad \bar{z} = \frac{\sum_{j=1}^n z_j}{n}$$

なお、1), 2)においては、 $x_{21}$ ,  $y_{21}$ ,  $z_{21}$  の代りに  $\frac{x_2}{x_1}$ ,  $\frac{y_2}{y_1}$ ,  $\frac{z_2}{z_1}$  を用いる場合もある。

#### (4) 転換率曲線<sup>10)</sup>

転換率曲線は、新しい輸送経路ができた場合に旧経路の利用者が新経路へ転換する割合を求めるもので、経路別分担率の予測法の一つといえる。転換率の説明変数としては所要時間比および費用比が用いられている。これは経路が2本の場合を対象としている。

#### (5) 経路の評価値を用いる方法<sup>11)</sup>

輸送機関利用者は、各経路を所要時間、費用などを考慮して評価し、所要時間などのような利用する際の損失で経路を評価する際は、評価値が最小の経路を選択しているはずである。そこで経路*i*の評価値を $x_i$ で表わし、利用者による評価値分布の確率密度が $f_i(x_i)$ とすると、経路*i*の分担率 $P_i$ は次式で与えられる。ここに、 $n$ は経路総数である。

$$P_i = \int_{-\infty}^{\infty} f_i(x_i) \int_{x_i}^{\infty} f_1(x_1) \cdots \int_{x_i}^{\infty} f_n(x_n) dx_n \cdots dx_1$$

(5-2-11)

この方法には、評価値をどのようにして決めるかということと、その分布を求めるのが困難であるという二つの問題点がある。

#### (6) 情報理論による方法<sup>12)</sup>

情報理論を用いて、平均所要時間当りの情報量を最大にする経路別分担率を求める方法であるが、平均所要時間当りの情報量最大の実際的な意味が明確でない。

ここでは、従来の輸送機関別および経路別分担率の推定法を示したが、両者に用いられている手法には共通のことが多い。外国では主に輸送機関別分担率に関する研究が行なわれ、わが国では経路別分担率

に関する研究が比較的多く行なわれている。

従来の輸送機関別および経路別分担率の予測方法には次のような問題点がある。

- (1) 輸送機関別および経路別分担率  $P_i$  に影響する要因は多いが、従来の方法では、一、二の例外を除いて考えている要因数が少ない。
- (2) 基準となる輸送機関および経路を変えると  $P_i$  の予測式の値が異なるものがある。いま、 $P_i/P_j = f(x_i, x_j)$  というモデルにおいて、本来なら  $P_j/P_i = 1/f(x_i, x_j) = f(x_j, x_i)$  が成立しなければならないが、この関係を満足するモデルは少ない。
- (3)  $0 \leq P_i \leq 1$ ,  $\sum_{i=1}^n P_i = 1$  を満足していないものがある。
- (4) 判別関数法を用いる方法は上記(1), (2), (3), の問題点を持たない優れたモデルだが、利用者ごとに各要因の値を必要とし、地区間の各要因の平均値で  $P_i$  を決定できないという欠点をもっている。

### § 3 アンケート調査の概要<sup>13)</sup>

ここで行なったアンケート調査の概要は次のようである。

昭和42年5月14日に名古屋市の通勤、通学者に対して、利用経路および経路選定理由などに対するアンケート調査を行なった。これは、名古屋全市へアンケート用紙2万枚を、朝日新聞の折込み広告として配布し、回答を記入して郵送するように依頼したものである。

その結果、1,218人の回答を得た。回答者数の名古屋市の通勤、通学者に対する比率は、0.15%に過ぎず、この資料により名古屋の通勤、通学者の動向を細部にわたって論ずることはできないが、一般的傾向についてはある程度知ることができる。

この調査では、通勤、通学者が利用している経路と競合経路の所要時間、1ヶ月当りの通勤、通学費、乗換え回数などの経路選定理由の記入を依頼した。同時に、通勤者については、通勤費の勤務先の負担状況、月収、職業、年齢および性別を、学生については、在学学校種別、年齢、および性別をそれぞれ調べた。

回答者1218人の内訳は表5-3-1に示すように、通勤者が918人、通学者（高校以上）が300人で、通勤者の86%、通学者の93%が路面

表5-3-1 機関別分担率

利用手段	通勤者	通学者	高校生	大学生	各種学校
大量輸送機関	792 (人)	276	130	125	23
	86.3 (%)	92.7	93.5	91.2	95.6
乗 用 車	74	5		5	
	8.1	1.7		3.6	
自 転 車	20	7	5	1	1
	2.2	2.3	3.6	0.7	4.2
徒 歩	32	10	4	6	
	3.5	3.3	2.9	4.4	
計	918	300	139	137	24
	1000	1000	1000	1000	1000

上段は実数、下段は%を示す。

電車、バス、高速鉄道などの大量輸送機関を利用している。乗用車を利用しているのは、通勤者の8%と通学者の2%、大学生についてみるとその3%である。その他は自転車および徒歩によっている。通勤者の平均所要時間は利用手段ごとに、大量輸送機関46分、乗用車25分、自転車15分、徒歩14分となっている。通学者のそれは、それぞれ49分、29分、21分、16分となっており、通勤者とほぼ似た傾向を示しているが、約5分ずつ大きくなっている。

また通勤者に対する勤務先の通勤費負担状況をみると、表5-3-2に示すように、大量輸送機関利用者の59%が全額補助、34%が一部補助を受け、合計93%の人が何らかの補助を受けている。

経路選定理由としては、所要時間、運賃、乗換え回数、徒歩距離などを考慮しているが、これと分担率の関係についての分析結果は後述する。

表 5 - 3 - 2 通勤費の通勤先補助状況

補助状況 利用手段	全額補助	一部補助	補助なし	計
大量輸送機関	451 590	261 341	53 69	765 1000
乗 用 車	23 338	34 500	11 162	68 1000
自 転 車	5 41.7	3 25.0	4 33.3	12 100.0
徒 歩	6 30.0	3 15.0	11 55.0	20 100.0

上段は実数、下段は％を示す。

#### § 4 輸送機関別分担率に影響する要因

輸送機関を大別すると、乗用車に代表される個人輸送機関と高速鉄道、バスなどの大量輸送機関に分けられる。前者にはタクシーが含まれ、後者には路面電車、トロリーバス、モノレールなどがある。本節では、両者の分担率が何によって変動するかを考察する。大量輸送機関にはいくつかの輸送機関があり、一括して取り扱うことには疑問もあるが、旅客の利用傾向からこのような取り扱い方をしてもよいといえる。また各輸送機関ごとの分担率は後述の経路別分担率と同じものとして扱えるので、本章 § 6 で考察する。

旅客が利用輸送機関を決定する際に考慮する要因としては、輸送機関の安全性、速度、運行の正確さ、経済性、快適さ（乗り心地）、交通機関相互の連絡性などがあげられる。<sup>14)</sup>

これらの要因の利用機関決定に影響する度合は、輸送の目的および時間的制約などによって異なり、一概に述べることはできない。

しかし、通勤、通学輸送では、利用する機関は毎日一定しており、機関別分担率は安定している。ここでは通勤、通学輸送の機関別分担率について考察する。



名古屋市の通勤、通学者に対するアンケート調査結果によると、前述の輸送機関選定要因のうちで、特に速度（所要時間）、経済性（運賃）、快適さの影響力が大きい。（表5-5-1参照）。ここで経済性というのは輸送施設全体の経済性（輸送原価）ではなくて、利用者が直接負担する輸送経費のことである。したがって、経済性は輸送機関の料金体系によって大きく変わる。

つぎに、通勤時の輸送機関別分担率と年齢、職業および月収などの関係进行分析してみると、表5-4-1、2、3のような結果となった。まず年齢と分担率の関係を見ると、大量輸送機関分担率は30才代が最も低く、812%で、これを離れるに従って高くなっている。乗用車分担率はこの逆

表5-4-1

年齢別による輸送機関別分担率（通勤者）

機 関 \ 年 令	16~19才	20~29才	30~39才	40~49才	50~59才	60才以上	計
大量輸送機関	37 48	275 356	238 308	137 177	67 87	18 23	772
利用者	97.4	902	812	845	848	900	
乗 用 車		15 205	36 493	15 205	6 82	1 15	73
利用者		49	123	93	76	50	
自 転 車	1 5.0	7 350	6 300	4 200	2 100		20
利用者	2.6	23	21	25	25		
徒 歩 に よ る 者		8 250	13 406	6 188	4 125	1 31	32
		26	44	37	51		

（注）左上側が実数を示す。

右上側が年齢別割合を示す。

右下側が機関別割合を示す。

表 5 - 4 - 2 職業別による輸送機関別分担率

機 関	農 業	農 林 水 産 業	建 設 業	製 造 業 ( 労 務 )	製 造 業 ( 事 務 )	卸 売 小 売 業	金 融 業	運 輸 通 信	電 気 業	サ ー ビ ス 業	公 務 員	そ の 他	計
大 量 輸 送 機 関 利 用 者	2	03	30 85.7	39 22	28 95.7	208 788	268 932	38 84.4	49 86.2	51 89.5	157 86.7	103 88.8	777
乗 用 車 利 用 者			5 14.3	68 22		29 110	397 110	5 111	68 138	5 88	11 61	152 78	73
自 転 車 利 用 者				1 43	53 41	11 41	579 22			1 17	3 17	157 08	19
徒 歩 に よ る 者						16 61	516 61	2 45	64 45		10 55	323 26	31

(注) 左上側が実数を示す。右上側が職業別割合を示す。右下側が機関別割合を示す。

表 5 - 4 - 3 月収別による輸送機関別分担率

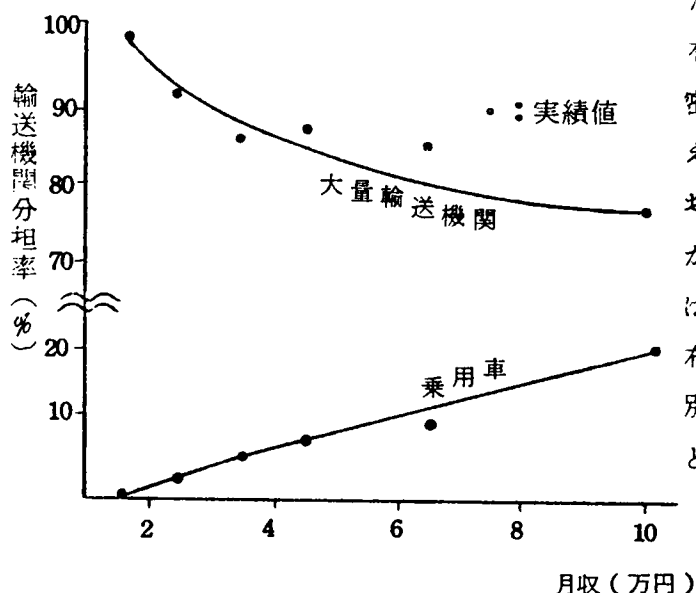
機 関	月 収	2 万円未満	2 - 3 万円	3 - 4 万円	4 - 5 万円	5 - 8 万円	8 万円以上	計
大量輸送機関 利用者	85	110 988	146 188 918	128 165 859	140 181 875	177 228 855	99 128 773	775
乗 車 利 用 者	1	14 12	4 56 25	8 113 54	13 183 81	21 296 101	24 338 183	71
自 転 車 利 用 者			7 388 44	5 278 33	3 167 19	3 167 15		18
徒 歩 に よ る 者			2 80 26	8 320 54	4 160 25	6 240 29	5 200 39	25

(注) 左上側が実数を示す。右上側が月収別割合を示す。右下側が機関別割合を示す。

の傾向を示している。つぎに職業別の分担率をみると、大量輸送機関分担率の最高は、金融、保険、不動産業の97%で、これに続いて製造業（労務職）の96%、卸売、小売業の93%が高い。そして最低は製造業（事務、技術職）の79%である。一方乗用車分担率は建設業、電気、ガス、水道業において最も高く14%で、運輸、通信業、製造業（事務、技術職）で11%と比較的高い。これに対して製造業（労務職）、農林水産業では乗用車を利用する人はいなかった。さらに月収別の分担率を検討すると、図5-4-1に示すように、月収の増加に従って大量輸送機関分担率は低下し、一方乗用車分担率は増大することがわかった。

以上の分析結果より、輸送機関別分担率と年令、職業、月収との関係のうちでは、月収との関係が最も明りように現われていることがわかった。また輸送機関別分担率を左右する要因として自動車保有率があるが、今回の調査ではこれを調べなかったため、両者の関係进行分析

図5-4-1



することはできなかった。しかし、自動車保有率と月収とは比較的密接な関係にあると考えられるので、将来においてもこれらの関係が大きく変わらなければ、ここに得た月収分布の資料から輸送機関別分担率を推定することは可能である。

## § 5 経路別分担率に影響する要因

本節では、前記アンケート調査における経路選定に関する分析結果について述べ、経路別分担率に影響する要因を明らかにする。

### 1. 経路選定理由

通勤、通学者が他に競合経路が考えられるときに、それを利用せず、現在利用している経路を選定した理由として次のようなものが考えられる。<sup>15)</sup>

- (1) 通勤、通学先に早く到着するから
- (2) 急行または特急に乗れるから
- (3) 待ち時間が少ないから
- (4) 乗換回数が少ないから
- (5) 乗換しないですむから
- (6) 乗換が楽にできるから
- (7) 運賃が安いから
- (8) 混み方が少ないから
- (9) 始発または増結電車に乗れるから
- (10) 下車駅から通勤、通学先までの便がよいから
- (11) 歩く距離が少なくなるから
- (12) 途中に繁華街があり、買物などに便利だから

この調査では、通勤、通学者に上記のうちのいずれの理由により利用経路を選定しているかを回答するように依頼し、二つ以上選んでもよいことにした。この回答を通勤、通学者について利用機関別に集計したのが表5-5-1である。この表には上記の番号で示した各項目を理由として選んでいる人の、輸送機関別の選定理由記入者総数に対する割合を付記しておいた。表の項目番号は前記の各対応番号の理由を示す。

大量輸送機関利用者についてみると、通勤者の38%、通学者の39%が項目(1)を選び、(3)も多くの人を選んでいことから、通勤、通学者ともに経路選定理由として所要時間の短縮を最も重視していることがわかる。つぎに多いのは、項目(7)の「運賃が安い」という理由で、通勤、通学者とも30%以上の人を選んでいいる。学生の割合が通勤者より多いのは、通勤者

表 5 - 5 - 1

利用機関別選定理由

理由		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	記入者数
通勤者	大量輸送機関	244	24	202	63	184	73	198	154	54	114	168	30	647
	利用者	377	37	312	97	284	113	305	238	83	176	260	45	
	乗用車利用者	30 1000												30
	自転車利用者	7 1000												7
通学者	徒歩による者	1 1000												1
	大量輸送機関	89	12	69	20	39	30	81	54	21	39	61	17	231
	利用者	385	52	299	87	169	130	351	234	91	169	264	74	
	大量輸送機関	36	8	32	8	15	8	35	19	7	19	21	13	99
大学生	関利用者	364	81	323	81	152	81	354	192	71	192	212	131	
高校生	大量輸送機関	44	3	30	10	22	17	40	31	14	15	23	3	111
	関利用者	396	27	270	90	198	153	360	279	126	135	252	27	

上段 : その理由を選んだ人数

(注)

下段 : その理由を選んだ人の記入者数に対する割合(%)

表5-5-2 月収別選定理由

理由 月収	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	記入者数
2万円未満	11	6	16	3	26	9	32	10	7	16	21	5	70
	157	86	229	43	371	129	457	143	100	229	300	71	
2～3万円	46	3	43	14	28	13	34	23	16	26	34	8	117
	393	26	368	120	239	111	201	200	137	222	291	68	
3～4万円	33	2	27	6	35	11	40	23	4	19	30	6	106
	311	19	255	37	330	104	377	217	38	179	283	57	
4～5万円	46	2	41	13	30	6	28	27	5	15	27	3	108
	426	19	380	120	278	56	259	250	46	139	250	28	
5～8万円	66	6	45	16	39	22	42	40	14	25	36	6	153
	431	39	294	105	255	144	275	261	92	163	235	39	
8万円以上	40	4	30	9	21	11	19	29	7	11	17	2	83
	482	48	361	108	253	133	229	349	84	133	205	24	

上段：その理由を選んだ人数

(注) 下段：その理由を選んだ人の記入者数に対する割合(%)

は約60%が勤務先から通勤費の全額補助を受け、34%が一部補助を受けていることによると考えられる。また乗換えのないことを理由にしている人の割合は通勤者の28%、学生の17%で、両者間に約10%の差がある。これをみると、学生は乗換えを通勤者ほど経路選定の際に重視していないようであるが、乗換えに関する他の項目は通勤者とはほぼ同程度の割合で選んでいるから、一概に断定することはできない。また歩く距離が少ないからという項目を通勤、通学者の26%が選んでいる。混み方が少ないという項目を選んでいる割合は、通勤、通学者ともに20%以上である。この他に目立つのは、大学生の13%が途中に繁華街があるからという理由をあげていることである。

また、乗用車、自転車利用者および徒歩の全員が所要時間の短縮を理由にあげている。つぎに大量輸送機関利用者の経路選定理由が、月収、職業、年齢によってどのように変わるかを検討する。

#### ○月収別による選定理由

名古屋市の通勤者の月収と経路選定理由に関する調査結果を示すと表5-5-2のようである。これによると、月収が多くなるに従って所要時間の短縮を、選定理由として重視していることがわかる。

これは一般的傾向として月収の多い層の所要時間が長いこと（調査結果ではこのようになっている）と、運賃がそれほど負担にならないことによるものであろう。当然のことであるが、月収の少ない層では運賃の安いことを重視する傾向がある。また月収の多い層では、混み方が少ないという項目を選ぶ割合が月収の少ない層の2倍以上になつている。

これは、高月収の人は高年齢の人が多くのことにもよるのであろうが、所得が多くなるに従って、よりよい輸送サービスを要求する傾向があることの裏付けとも考えることができる。

#### ○職業別による選定理由

これの集計結果を表5-5-3に示す。全職業にわたって所要時間の短縮と運賃が安いという理由を選んでいる人の割合が多い。建設業において、所要時間の短縮を理由に選んでいる割合が全職業のうちで最も多く43%である。製造業の労務職、運輸、通信業において待ち時間が少な

表5-5-3

## 職業別選定理由

理由 職業	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	記入者数
農林水産業	1 500	1 500	2 1000			1 500				1 500			2
建設業	9 429		6 286	1 48	7 333	2 95	7 333	4 190	3 143	5 238	3 143	1 48	21
製造業(労務職)	6 333	2 111	11 611	2 111	4 222	3 167	4 222	4 222	2 111	2 111	3 167	1 55	18
製造業(事務技術職)	65 387	5 30	50 298	16 95	40 248	15 89	57 339	50 298	11 65	33 196	35 208	19 54	168
卸売小売業	19 396	1 21	17 354	2 42	14 292	5 104	13 271	11 250	2 42	5 104	15 312	1 21	48
金融・保険不動産業	29 403	3 42	24 333	5 69	20 278	4 56	19 264	15 208	3 42	10 139	19 264	4 56	72
運輸・通信業	14 400		16 457	7 200	8 229	4 56	6 171	9 257	1 29	6 171	7 200	1 29	35
電気・ガス・水道業	6 261		5 217	2 87	6 261	3 130	7 304	5 217	2 87	4 174	5 217	2 87	23
サービス業	16 372	2 47	11 256	4 93	14 326	6 140	13 302	5 116	5 116	13 302	18 419	2 47	43
公務員	49 386	6 47	40 315	16 126	34 268	15 118	38 299	30 236	16 126	21 165	32 252	5 39	127
その他	25 305	3 37	20 244	7 85	34 415	14 171	32 390	17 207	7 85	12 146	27 329	4 49	82

上段：その理由を選んだ人数

(注) 下段：その理由を選んだ人の記入者(総)数に対する割合(%)



いという項目を選んでいる割合が多い。サービス業において、下車駅からの便がよい、歩く距離が少ないという項目を選んでいる割合が他の職業に較べて多い。

○ 年令別による選定理由

アンケート調査の結果を年令別に集計したのが表5-5-4である。

表5-5-4

年 令 別 選 定 理 由

理由 年令層	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	記入 者数
15～19才	5 172	4 138	6 207	1 34	11 379	3 103	13 448	6 207	3 103	8 276	5 172	2 69	37
20～29才	74 325	5 22	74 325	22 96	68 298	23 101	78 342	39 171	18 79	43 189	66 289	9 39	228
30～39才	86 434	3 15	54 273	20 101	53 268	23 116	55 278	57 288	15 76	28 141	41 207	9 45	198
40～49才	46 422	5 46	35 330	13 119	33 303	10 92	25 229	23 211	10 92	20 183	35 321	4 37	109
50～59才	23 404	4 70	19 333	4 70	13 228	9 158	20 351	22 386	5 88	9 158	13 228	3 53	57
60才以上	4 267	1 67	5 333	2 133	4 267	3 200	3 200	1 67	1 67	3 200	6 400	1 67	15

上段：その理由を選んだ人数

下段：その理由を選んだ人の記入者数に対する割合（％）

（注）

これによると、若い世代に運賃が安いという理由を選んでいる者が多い。これは、先の月収別選定理由の分析結果で、月収の少ない者ほど運賃が安いという理由を選んでいる割合が多いことから、一般に若い人の月収は少ないから、当然のことといえる。所要時間の短縮を選ぶ割合が最も大きいのは、30才代で、この世代の乗用車利用率が最も高いことがうなづける。

混み方が少ない、歩く距離が少ないという理由を選ぶ人の割合は、当然のことながら50才以上の人に多い。ここでは、通勤、通学者が経路選定に際してどのような要因を考えるかを実際の調査資料を分析することによって検討した。その結果、主要な要因は、所要時間、通勤費（運賃）、乗換え回数、混雑度、徒歩距離などであることがわかった。これらの要因は、経路選定のみならず、輸送機関の選択の際にも全く同様に考慮されるはずである。

前記諸要因のうち、徒歩距離および混雑度の資料は得にくいのと、前三者に比較して考慮される比率が低いと考えられるので、本文では前三者を取りあげて考察を進める。

## 2. 経路別分担率の推定法

経路別分担率とは2地点間の全旅客に対するある経路を利用する人の割合である。したがって2地点間の旅客の利用経路に関する調査をすればよいのであるが、これができない場合の経路別分担率の推定方法について述べておく。

ただし、これは経路が2本の場合で、旅客の利用経路と競合経路の所要時間、運賃、乗換え回数などがわかっているなければならない。また、利用経路と競合経路の間では、前記要因のいずれも一方が優位であるというようなことがあってはならない。なぜなら、上記三要因が経路選定の際に考慮されるものであると仮定すると、三要因とも有利な経路を旅客が利用するのは当然のことであって、このとき2経路間の選択は問題にならないからである。実際には、三要因とも不利な経路を選ぶ人もいるが、これは、ここでとりあげたものの以外の要因によって経路を選択していると考えられるので、ここでは、そのような人は除外して考察を進

める。したがって、利用経路と競合経路の間では、ある要因では有利だが、他では不利であるという関係が存在する。

いま、利用経路を1、競合経路を2とし、それぞれの所要時間、運賃乗換え回数を $x_1, x_2, y_1, y_2, z_1, z_2$ とすると、利用、競合両経路の間では、 $x_1 - x_2, y_1 - y_2, z_1 - z_2$ のいずれかが負となり、他は正のはずである。記述の都合上、 $x_{12} = x_1 - x_2, y_{12} = y_1 - y_2, z_{12} = z_1 - z_2, x_{21} = x_2 - x_1$ 以下同様、と定義し、経路1、2の分担率を $P_1, P_2$ とする。

各旅客の $x_{12}, y_{12}, z_{12}$ を調査したデータがあるとき、経路1、2を利用する人に対する経路1を利用する人の割合を求めれば、これが $P_1$ である。そこでここではすべての人が、実際利用する経路は異なっても、経路選定に際しては、競合経路との相対的關係（選定要因の差）のみによって、利用経路を決定していると考ええる。このとき、 $x_{12} = x_0, y_{12} = y_0, z_{12} = z_0$ がそれぞれ等しい人は、同一経路1を利用していると見なすことができ、一方 $x_{12} = -x_0, y_{12} = -y_0, z_{12} = -z_0$ の人は、経路1の競合経路2を利用していると考えることができる。いま、前者が $n_1$ 人、後者が $n_2$ 人いたとすると、調査が偏りなく、ランダムに行なわれておれば、経路1、2の分担率 $P_1, P_2$ は次式で与えられる。

$$P_1 = \frac{n_1}{n_1 + n_2} \quad P_2 = \frac{n_2}{n_1 + n_2}$$

このようにして、 $x_{12}, y_{12}, z_{12}$ が与えられると、それぞれに対する分担率 $P_i$ を決定することができる。この考え方は経路数が多くなっても適用できる。

## § 6 輸送機関別および経路別分担率の予測モデル

2地点間に異なった輸送機関の経路があるとき、そのいずれを選ぶかを経路別に考えるのが経路別分担率で、それらの経路を輸送機関別にまとめて考えるのが機関別分担率である。したがって、分担率を細かく分析したものが経路別分担率と考えることができる。2地点間の輸送需要を経路別に配分するには、まず輸送機関別に配分し、つぎにこれをそれぞれの機

関からなる経路へ配分するという方法を用いる。

本節では、まず輸送機関別分担率を利用者の収入などから予測する方法を述べ、つぎに機関別および経路別分担率の両方の予測に利用可能なモデル式を経路別分担率の予測モデルとして提案する。そしてこのモデルが分担率予測モデルの具備すべき条件を満足していることを示す。

### 1. 輸送機関別分担率

輸送機関を乗用車と大量輸送機関に分類し、両者の分担率を推定する方法を述べる。

まず通勤者を月収、年令、職業、自動車保有状況および居住地周辺の輸送機関網の整備状況などにより、乗用車と大量輸送機関のいずれか一方を固定的に利用せざるを得ない人（輸送機関を選択する余地のない人）と両者を利用可能な人に分類する。<sup>16)</sup> 前者については、利用機関は一義的に決まるので分担率を考える必要がない。後者についてのみ両輸送機関の分担率を考えればよい。

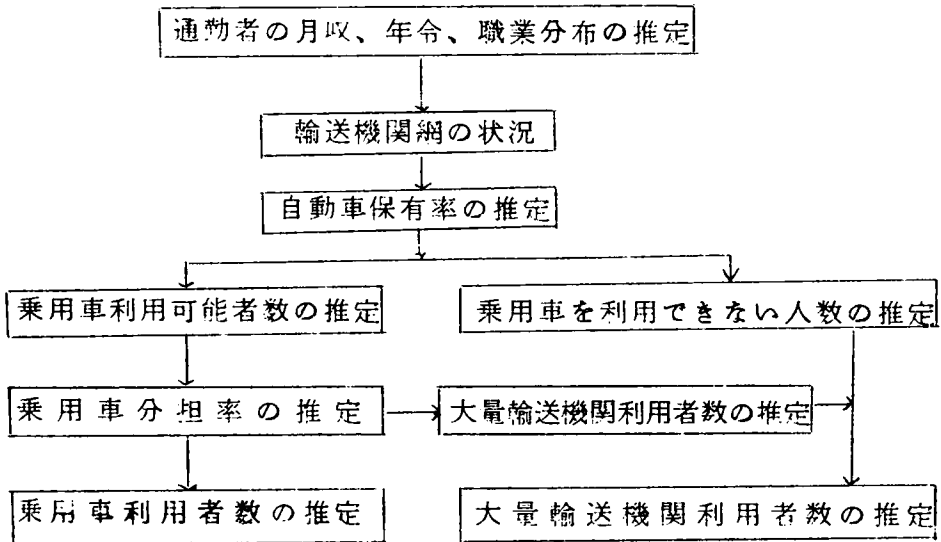
先に、名古屋市におけるアンケート調査で、通勤者の機関別分担率が年令、職業、月収などの要因によって変動する状況を分析したが、これによると月収との関係が最も明りように現われている。これを図示したのが図5-4-1で、月収の増加とともに乗用車の分担率が高くなり、一方大量輸送機関分担率が低くなっている。両者の和が100%にならないのは、徒歩や自転車の人が若干あるためである。

月収と機関別分担率の関係が将来も大きく変動しなければ、通勤者の月収分布を知ることによって図5-4-1から輸送機関別分担率を推定することが可能である。このとき、年令および職業などの要因を考慮することも可能である。なお、機関別分担率は地区間の輸送時間、輸送費用、快適さ（乗り心地その他）などの影響を受けるので、予測モデルにおいてはこれらを考慮すべきであるが、そのようなモデルは本節2で示し、ここでは簡便法ともいうべき方法を示した。

ここで述べた輸送機関別分担率の予測方法のシステムチャートを示すと次のようになる。

図 5 - 6 - 1

輸送機関別分担率の予測方法



2. 経路別分担率

アンケート調査の結果から、経路別分担率を左右する主要な要因は、利用、競合両経路間の所要時間差、運賃差、乗換え回数差の三つであることが判明したので、ここではこの3要素を経路別分担率の説明変数とする予測モデルを提案する。

(1) モデルの提案

経路別分担率の予測モデルの具備すべき条件を列挙するとつぎのようである。

1.  $P_i$  は常に  $0 \leq P_i \leq 1$  を満足し、かつ  $\sum_i P_i = 1$  を満たすこと。
2. 基準となる経路を変えても  $P_i$  が変わらないこと。すなわち、 $P_i$  をいかなる順序で求めても同一値となること。
3. 経路および説明変数の数に無関係に適用できること。

ここでは、これら3条件を満足するモデルの開発を試みる。

そこで、2地点間に競合関係にある経路が3本ある場合を考え、それ

らを 1, 2, 3 の記号で表わす。それぞれの旅客の分担率を  $P_1, P_2, P_3$  とし、各経路間の所要時間差、運賃差、乗換え回数差は先に定義した  $x_{12}, y_{12}, z_{12}$  で表わす。このとき、次式を仮定する。

$$\frac{P_2}{P_1} = e^{f(x_{12}, y_{12}, z_{12})} \equiv e^F \quad (5-6-1)$$

この式は、経路 2 の分担率と経路 1 の分担率の比が、経路 1、2 間の所要時間差、運賃差、乗換え回数差の指数関数として表わされると考えて導いたものである。すなわち、本モデルでは、2 経路の分担率の比は両経路間の所要時間差、運賃差、乗換え回数差の指数関数で表わされると考える。ここで基本式を  $P_i = f$  でなく、 $\frac{P_i}{P_1} = f$  という型に仮定したのは、経路選定においては各経路を比較した上で利用経路を決定する、すなわち  $P_i$  は相対的關係から決まるものであるからである。また指数関数を導入した理由は  $\frac{P_i}{P_1}$  が  $x, y, z$  の値にかかわらず正値となるからである。以下において、この関数の形を決定する。

つぎに経路 1、3 について考えると、次式を得る。

$$\frac{P_3}{P_1} = e^{f(x_{13}, y_{13}, z_{13})} \equiv e^G \quad (5-6-2)$$

このとき、

$$P_1 + P_2 + P_3 = 1 \quad (5-6-3)$$

という条件式があるので、これに式 (5-6-1, 2) から求めた  $P_2, P_3$  を代入すると、

$$P_1 = \frac{1}{1 + e^F + e^G}, P_2 = \frac{e^F}{1 + e^F + e^G}, P_3 = \frac{e^G}{1 + e^F + e^G} \quad (5-6-4)$$

を得る。式 (5-6-4) で与えられる  $P_i$  は、 $x_{ij}, y_{ij}, z_{ij}$  がいかなる値をとっても、 $0 \leq P_i \leq 1$ 、および式 (5-6-3) を満足している。すなわち式 (5-6-4) によって条件 1 を満足する  $P_i$  が与えられる。

また、式(5-6-1)において、

$$\frac{P_1}{P_2} = e^{-f(x_{12}, y_{12}, z_{12})} = e^{-f(-x_{21}, -y_{21}, -z_{21})} = e^{f(x_{21}, y_{21}, z_{21})} \quad (5-6-5)$$

が成立しなければならない。したがって、関数 $f$ は奇関数でなければならない。その最も簡単な式としては、

$$f(x_{12}, y_{12}, z_{12}) = ax_{12} + by_{12} + cz_{12}, \quad (5-6-6)$$

が考えられる。一般式としては、

$$f(x_{12}, y_{12}, z_{12}) = \sum_n (a_n x_{12}^n + b_n y_{12}^n + c_n z_{12}^n), \quad (5-6-7)$$

ここに、 $n$ は奇数

と書ける。奇関数としては、この他に数多くあるであろうが、このようなモデル式に複雑な関数を用いるのは好ましくないのと、指数関数、三角関数などもべき級数展開すると $x, y, z$ の多項式になるから、式(5-6-7)を一般式と考えても、大きな誤りはないであろう。

ところで、いかなる求め方をしても $P_i$ は同一値でなければならないから、つぎに、この点について検討する。

経路(1, 2), (3, 2)間では次式が成立するはずである。

$$\frac{P_1}{P_2} = e^{f(x_{12}, y_{12}, z_{12})} \quad (5-6-8)$$

$$\frac{P_3}{P_2} = e^{f(x_{13}, y_{13}, z_{13})} \quad (5-6-9)$$

これから求めた $P_1, P_3$ を式(5-6-3)に代入すると、次式を得る。

$$P_1 = \frac{e^{f(x_{11}, y_{11}, z_{11})}}{1 + e^{f(x_{21}, y_{21}, z_{21})} + e^{f(x_{13}, y_{13}, z_{13})}} \quad (5-6-10)$$

$$P_1 = \frac{1}{1 + e^{f(x_{11}, y_{11}, z_{11})} + e^{f(x_{13}, y_{13}, z_{13})}} \quad (5-6-10)$$

$$P_2 = \frac{e^{f(x_{13}, y_{13}, z_{13})}}{1 + e^{f(x_{11}, y_{11}, z_{11})} + e^{f(x_{13}, y_{13}, z_{13})}}$$

式(5-6-10)の $P_i$ と式(5-6-4)の $P_i$ は等しくならなければならない。式(5-6-10)を変形すると、

$$P_1 = \frac{1}{e^{-f(x_{11}, y_{11}, z_{11})} + 1 + e^{f(x_{13}, y_{13}, z_{13}) - f(x_{11}, y_{11}, z_{11})}}$$

$$P_2 = \frac{e^{-f(x_{11}, y_{11}, z_{11})}}{e^{-f(x_{11}, y_{11}, z_{11})} + 1 + e^{f(x_{13}, y_{13}, z_{13}) - f(x_{11}, y_{11}, z_{11})}}$$

$$= \frac{e^{f(x_{13}, y_{13}, z_{13})}}{e^{f(x_{11}, y_{11}, z_{11})} + 1 + e^{f(x_{13}, y_{13}, z_{13}) - f(x_{11}, y_{11}, z_{11})}}$$

$$P_3 = \frac{e^{f(x_{13}, y_{13}, z_{13}) - f(x_{11}, y_{11}, z_{11})}}{e^{-f(x_{11}, y_{11}, z_{11})} + 1 + e^{f(x_{13}, y_{13}, z_{13}) - f(x_{11}, y_{11}, z_{11})}}$$

$$= \frac{e^{f(x_{13}, y_{13}, z_{13}) - f(x_{11}, y_{11}, z_{11})}}{e^{f(x_{11}, y_{11}, z_{11})} + 1 + e^{f(x_{13}, y_{13}, z_{13}) - f(x_{11}, y_{11}, z_{11})}} \quad (5-6-11)$$

となり、これらが式(5-6-4)と等しくなるためには、関数 $f$ は式(5-6-6)でなければならない。

また、このモデルでは、経路および説明変数の数が増えても、全く同様にして各経路の分担率を求めることができるという利点がある。

したがって、このモデルは、先にあげた3条件のうち、1を除くすべて



を満足することが判明した。なお、 $P_i$ の説明変数として、前記要因の比  $x_1/x_2$ ,  $y_1/y_2$ ,  $z_1/z_2$  を用いることも考えられるが、このときは、式 (5-6-5) が成立しないので望ましくない。

また、参考文献9) にも、分担率と所要時間の関係について調べた結果に基づいて、経路別分担率は所要時間の比でなく差に応じて変動していることが指摘されている。したがってここに提案したモデルは利用者の経路選択の実情を反映しているといえよう。

ここではモデルの指数関数の底として自然対数の底  $e$  を用いたが、以下に示すように他の正数を用いても、定数  $a$ ,  $b$ ,  $c$  が定数倍になるだけであって、モデルの実績値に対する適合性は変わらないので、計算の容易な  $e$  を用いるのが得策と考えられる。いま、 $e$  の代りに  $\alpha$  ( $\alpha > 0$ ) を用いた場合を示すと次のようになる。

$$\frac{P_i}{P_1} = \alpha^{a'x_{12} + b'y_{12} + c'z_{12}} = e^{ax_{12} + by_{12} + cz_{12}}$$

$$a' = \beta a \quad b' = \beta b \quad c' = \beta c$$

$$\text{ここに、} \quad \beta = \frac{1}{\log \alpha}$$

## (2) 名古屋市への適用例

つぎに、名古屋の通勤、通学者の経路別分担率の資料によって、ここで提案した経路別分担率モデルの有用性を検討する。

先の調査において、利用、競合両経路間の所要時間差、運賃差、乗換え回数差の3項目ともに記入してある回答者は、通勤者918人中160人で、通学者300人中117人であつた。ところで、回答者の中には利用経路が3要素とも有利である者が相当ある。この場合は、前述したように、回答者は競合経路として挙げていても、両経路を競合関係にあると考えるのは適當でない。そこで、このような例を上記回答者より除くと通勤者57人、通学者45人が有効なデータとして残つた。以下においてこれらを用いて、通勤、通学者別に経路別分担率モデルの係数を決定する。

まず、これは経路が2本の場合なので、経路別分担率の推定法の項で述べた方法により、それぞれの $(x_{11}, y_{11}, z_{11})$ に対応する $P_1$ を決定した。データ数が少ないのと、データはある程度巾をもっていると考えられるので、通勤者では所要時間差5分、運賃差200円の巾に入っている人を同一経路利用者と見なし、通学者では所要時間差10分、運賃差200円、乗換え回数差2回の巾に入っている人を同一経路利用者と見なした。

#### 1) 通勤者について

通勤者に関するデータでは、すべて乗換え回数差が0であつたので、ここでは経路別分担率 $P_1$ 、 $P_2$ の説明変数として、所要時間差 $x_{11}$ と運賃差 $y_{11}$ の二つを用いた。モデルとしては、式(5-2-8, 9)(5-6-4)を適用し、各モデルの係数を先のデータを用いて最小自乗法により決定した。これらを次に示す。

$$P_1 = 0.00775x_{11} - 0.00000654y_{11} + 0.710 \quad (\gamma=0.404) \quad (5-6-12)$$

$$P_1 = 0.0140x_{11} + 0.00000732y_{11} + 0.5 \quad (\gamma=0.403) \quad (5-6-13)$$

$$P_1 = \frac{e^F}{1 + e^F} \quad F = 0.1325x_{11} + 0.000345y_{11} \quad (\gamma=0.404) \quad (5-6-14)$$

ここに、 $x_{11}$ (分)、 $y_{11}$ ( $\frac{\text{円}}{\text{月}}$ )、 $\gamma$ =計算値と実績値の相関係数(重相関係数)。

各モデル式が実績値 $P_1$ をどの程度正しく表現しているかを検討するために、モデル式による計算値と実績値の相関係数を求めてみた。これによると、3モデルの適合性はほぼ等しく、あまりよくない。適合性がよくないのはモデルの構造よりも、用いたデータの方に問題があるようである。したがって、提案したモデルはモデルの具備すべき条件「説明変数によって $P_i$ をうまく推定できること」を、従来のものと同程度に満足していると考えることができる。

式(5-6-12)では、運賃差 $y_{11}$ の係数が負となっている。これによると運賃が高い方の経路をより多くの人が利用するということになるが、こう考えるのは誤りである。これは視測値にモデル式を適用する

と、このようになったというに過ぎない。

## 2) 通学者について

通学者についても全く同様にして  $P_i$  を決定した。このときは、利用、競合両経路間に乗換え回数差があり、しかも資料数が少ないので分担率の決定がむづかしかった。通学者に対する分担率モデル式はつぎのように得られた。

$$P_i = 0.00139x_{i1} + 0.0000301y_{i1} + 0.0120z_{i1} + 0.604$$

( $\gamma=0.091$ ) (5-6-15)

$$P_i = 0.00202x_{i1} + 0.0000499y_{i1} + 0.00160z_{i1} + 0.5$$

( $\gamma=0.073$ ) (5-6-16)

$$P_i = \frac{e^G}{1 + e^G}, G = 0.00399x_{i1} - 0.0000211y_{i1} - 0.145z_{i1}$$

( $\gamma=-0.014$ ) (5-6-17)

各モデル式の適合度はいずれもきわめて悪い。これは、 $P_i$  と説明変数の間には線型関係も式(5-6-17)の関係もないことを示している。したがってこの場合も適合度においては従来のものと差があるとはいえない。式(5-6-17)の運賃差と乗換え回数差の係数が負になっている。これらはすべて正数となるべきものであるが、機械的に処理するとこのような結果になってしまった。この理由の一つは、わずかなデータから  $P_i$  を決めたので、データがこのような特殊性をもっていたとも考えられる。

通勤、通学者のいずれも、全モデル式を通じて、運賃差より所要時間差の分担率に対する影響が大きくなっており、経路選定に際して、所要時間を重視していることを裏付けている。

名古屋市の通勤、通学者にモデルを適用した結果、つぎのことが判明した。ここに提案したモデルの実績値に対する適合度は従来のモデル式(5-2-8, 9)と同様である。ところで、式(5-2-8)は式(5-6-3)を満足しておらず、また式(5-2-9)は経路が三つ以上になると適用できないという欠点をもち、さらに両モデルおよび式(5-2-10)は  $x_{i1}$ ,  $y_{i1}$ ,  $z_{i1}$  の値によっては、必ずし

も  $0 \leq P_i \leq 1$  を満足しなくなる。これらの点を考慮すると、経路別分担率モデルとしては、ここに提案したものが、従来のものより優れているといえる。

## § 7 結 語

本章においては、通勤、通学交通の輸送機関別および経路別分担率に関する研究を行ない、これら分担率の予測モデルを提案した。

まず、従来の輸送機関別および経路別分担率の推定法について概述し、その問題点を明らかにした。

つぎに名古屋市の通勤、通学者に対して行なったアンケート調査を分析し、輸送機関および経路を選択する際に考慮される要因は、所要時間、所要経費、乗換え回数、待ち時間、徒歩距離などであることを明らかにした。さらに、年齢、職業、月収が機関別分担率にどのように影響しているかを分析し、月収との関係が比較的明りようであることを指摘した。なか、機関別分担率を左右する要因に自動車保有率があるが、これは月収と密接な関係にあるので、ここで得た月収と分担率の関係から近い将来の機関別分担率を推定することは可能であろう。

また、ここで行なった調査では、朝日新聞の読者を抽出しているので、このための偏りがいくらかあると考えられる。

輸送機関別および経路別分担率の予測モデルは全く同様に考えることができるので、ここでは経路別分担率を例にとって、所要時間、運賃、乗換え回数の3要因を説明変数とする予測モデル式を提案した。そしてこのモデルは、本章 § 6 に述べた分担率予測モデルの備えなければならない3条件をすべて満足していることを、名古屋市の通勤、通学者の経路別分担率の観測資料などによって明らかにした。

従来発表されたモデルのうちに、これとよく似たもの（式5-2-2，5）があり、本モデルは式（5-2-2，5）を拡張し、一般化したものと見なすことができるが、モデルの誘導方法は全く異なっている。また従来のモデルには、ここで述べたモデルの具備すべき3条件を検討したものはいなかった。従来のモデルはほとんど経路が2本の場合を考えており、3

本以上を対象としたものはきわめて少ない。

さらに、このモデル式は、通勤、通学以外の旅客交通および自動車交通の経路別分担率モデルとして応用することもできる。たとえば、自動車交通において、2地点間の有料道路と一般道路の選択を考える場合は、所要時間差、料金差を説明変数として用いれば通勤者の場合と全く同じモデルになる。

## 参 考 文 献

- 1) K.R.Overgaard 著, 佐佐木綱訳: 都市運輸計画における交通量推定, 関西鉄道協会都市交通研究所, pp. 31~97, 昭和43年2月。
- 2) S.L.Warner: Stochastic Choice of Mode in Urban Travel, A study in Binary Choice, Northwestern University Press。
- 3) S.L.Warner 著, 佐佐木綱, 今坂一郎訳: 都市交通における運輸手段の確率的選択について (A), 関西鉄道協会都市交通研究所, 昭和43年2月。
- 4) 吉川和広, 木俣 昇: 輸送需要の分担率決定に関する一考察, 土木学会第23回年次学術講演会講演概要第IV部門, pp. 405~406, 昭和43年10月。
- 5) 天野光三: 都市通勤交通需要の推計に関する方法論的研究, pp. 147~203, 昭和40年10月。
- 6) 前掲5) に同じ。
- 7) 前掲5) に同じ。
- 8) P.R.Stonher: Predicting Travel Mode Choice for the Work Journey, Traffic Engineering & Control, pp. 436~439, Jan. 1968。
- 9) 佐佐木恒一 小林八一: 道路交通量の推定, 交通日本社, pp. 91~105, 昭和37年10月。
- 10) 前掲9) に同じ。
- 11) 加藤 晃: 道路網の交通量配分に関する基礎的研究, pp. 178~219 昭和40年5月。
- 12) 前掲9) に同じ。
- 13) 河上省吾, 大沢耕一: 通勤, 通学者の輸送機関別分担率と経路選定について, 土木学会第23回年次学術講演会講演概要第IV部門, pp. 407~408 昭和43年10月。
- 14) 角本良平: 都市交通, 有斐閣, pp. 85~99, 昭和38年3月。
- 15) 日本鉄道施設協会: 通勤輸送に関する調査研究報告書, 昭和40年。
- 16) 前掲1) に同じ。
- 17) A.B.Sosslau, K.E.Heanue & A.J.Balek: Evaluation of a New Model Split Procedure, Public Roads, Vol. 33, No1, pp. 5~17, April 1964。
- 18) P.Merlin: Transport Problems in the Paris Area, Traffic Engineering & Control, pp. 50~53, May 1967。
- 19) 角本良平: 通勤革命, 三一書局, pp. 60~64 昭和41年9月。

## 第 6 章 結 論

わが国の都市における交通問題には、朝夕のラッシュ時の大量輸送機関の混雑、自動車交通の渋滞、交通事故、さらに自動車の排気ガスや騒音による公害などがある。これらの問題は、ここ数年米悪化の一途をたどり、年ごとにその深刻の度を増している。これは従来行なわれてきた交通問題解決のための対策が対症療法的で、問題を根源から改善する抜本策でなかったためと考えられる。

交通問題を根本から解決するための一つの方向としては、交通需要の発生源である土地利用と交通施設を一体としてとらえた都市交通体系を確立することが必要であると考えられる。このような交通体系を実現するためには、各土地利用間の交通需要を的確には握し、土地利用と交通施設の有機的関連を考慮した交通計画を策定する必要がある。

このような見地に立って、本研究では都市機能をかんづく土地利用の最適配置を考慮した都市交通計画の策定法の一環として、通勤・通学交通の所要時間を最小にする土地利用計画の策定、および輸送需要分布の予測のための方法論に関する考察を行なった。以下に本研究によって明らかにされた事項を要約して結論とする。

まず最初に、本研究の目的と交通計画において占める位置を明らかにし、続いて研究の内容について述べた。

つぎに、交通施設と有機的関連をもった土地利用計画の策定法に関する検討を行なった。まず都市内の地区間交通量が各地区の発生・集中交通量の一次式で与えられ、しかも商業、工業施設、交通施設および住宅などの建設費および維持費がは握されることを前提として、これら費用の合計を最小にする土地利用計画を L. P. の手法を利用して求める方法を示した。つぎにこれを簡略化すれば、総通勤時間を最小にするような職場と住宅の配置計画を求めうることを明らかにした。

ひき続いて、通勤、通学交通の発生・集中量の予測方法に関する考察を行なった。まず発生・集中交通量の予測方法を、原単位法を含む関数モデル法と

輸送需要の発生機構による方法との二つに分類し、前者に属する原単位法が簡便性および実用性において優れていること、および後者が輸送需要発生状況の構造的変化に対応できることにおいて優れていることを指摘した。

つぎに、都市の人口を原単位とする通勤・通学交通の発生原単位は都市の人口規模および時間の経過に対する変動が小さいが、集中原単位のそれは発生原単位に比べて少し大きいことを六大都市の実証例に基づいて指摘した。また京都市における分析の結果から、用途地域を対象とした通勤・通学交通の発生・集中原単位は、その地域の夜間人口および従業者と学生数の和をそれぞれ原単位とするものが適当であることを明らかにした。

続いて、地区間交通量の予測モデルに関する考察を行なった。まず、従来開発された地区間交通量の予測モデルの多くは、モデル式を用いて将来交通量の第1近似値を求めるための第1計算と、この値を予測の前提としている発生・集中交通量に一致させるための修正計算法である第2計算に分解できることを指摘した。著者の提案した地域間結合度を用いて、第1計算の方法を分類すると、従来の多様性をもった多くのOD交通量予測モデルが平均成長率法の型とデトロイト法の型に大別され、重力モデル、介在機会モデル、連立方程式モデル2などが前者に、エントロピー法、地域間結合度モデルなどが後者に属することを明らかにすることができた。また、各モデル式が交通パターンの変化をどのようにとらえているかを明らかにした。第2計算の方法を分類すると、発生・集中量に一致させるための単なる修正計算法と、交通量分布の同時確率最大というようにある意味をもつ方法に大別できることを指摘した。後者はきわめて新しく、その数も少なく、エントロピー法

があるに過ぎない。

つぎに、将来の交通パターンが現在のものとあまり変わらない場合、交通量予測の精度は、第1および第2計算の方法にあまり関係せず、第1計算においてモデルを適用して得られた現在の地域間結合度を用いるよりも、実際に観測された値を用いるモデルの予測精度がよいことを明らかにした。

さらに、新しい地区間交通量予測モデルとして、予測の前提として発生・集中量が与えられていることによる条件式の数とパラメーターの数が一致し、かつ発生・集中量の一次式によって地区間交通量が与えられる連立方程式モ



デル1, 2と、地域間結合度の変化が小さいことを前提とした地域間結合度モデルの三つを提案した。そして、前二者と現在パターン法、エントロピー法、トリップポテンシャルモデルなどにより京都市、名古屋市および大阪市の通勤・通学交通量を予測し、その実績値に対する適合性を比較検討して、連立方程式モデルの予測精度が現在パターン法より悪いがその他のモデルより良いこと、および重力モデルおよびエントロピー法のパラメーターの最適値は最小自乗法では得られないことなどを明らかにした。

またモデルを将来交通量の予測に適用する際に留意すべき点である次の事項、必要資料の内容、パラメーター決定の難易、発生・集中量に一致させるための計算法、交通パターンの時系列的な変化に対する適応性、現在と推定時のゾーン分割一致の必要性などに関して予測モデルの比較表を作成し、モデルを交通量予測に適用する際の指針を与えた。

最後に、輸送機関別および経路別交通量の推定法に対して検討を加えた。まず名古屋市の通勤・通学者を対象とするアンケート調査により、通勤・通学者の輸送機関別および経路別分担率に影響する要因は、所要時間、所要経費、乗換え回数、待ち時間および徒歩距離であることを明らかにした。この分析結果に基づいて、従来の輸送機関別および経路別分担率の推定モデルのもつ矛盾点、分担率が0と1の間の値をとり、その和が1となるという条件を必ずしも満足しない点、モデルで扱う説明変数、輸送機関、経路などの数に制限がある点、基準となる輸送機関および経路を変えると分担率が変わる点、などを除いた経路別分担率の予測モデルを提案し、その有用性を名古屋市の通勤・通学者を例にとって検証した。

以上、要するに本研究では、土地利用計画を含んだ総合的交通計画の策定方法の一環として、土地利用率の決定方法、発生・集中交通量と地区間交通量の予測方法、ならびに交通機関別および経路別交通量の予測方法に関する考察を行ない、二、三の新しい方法論を提案した。

しかしながら、新たに生じた問題点も多く今後の研究に待つべきものが多い。今後これらの問題点について研究を進める予定である。

本研究に関連して今後解明すべき問題点を列挙すると、次のとおりである。

1. 土地利用率決定モデルにおける用途地域別の交通量発生・集中原単位の予測方法、特に都市の立体化などに対応できる予測方法を開発する必要がある。  
また、同モデルの係数  $\alpha_j$ ,  $\beta_i$  の推定方法も改良する必要がある。
2. 地区間交通量の予測方法に、現在時点から将来時点までの増加発生・集中交通量により将来値を推定する方法があるが、ここで対象とした都市のうち京都と大阪では、昭和35年より40年の発生・集中交通量が減少している地区があるので、この方法の適用を試みなかった。今後は、この方法についても検討すべきである。
3. 地区間交通量の予測方法の検討において、同一ゾーン内交通の予測に関する、より詳細な考察を必要とする。
4. 地区間交通量の予測に用いる地区間平均所要時間の算定基準に関する、より詳細な検討を必要とする。
5. 本文では、入手可能な観測資料の関係から、地区間交通量予測モデルの短期（5年間）予測能力の検討しか行なうことができたかったが、土地利用率決定モデルなどでは、長期予測を必要とするので、今後長期にわたる交通量が観測されるのを待つて、長期予測能力の検討を行なう必要がある。
6. 提案した経路別交通量の予測モデルの実測値に対する適合性を、さらに多くの観測資料を用いて検討する必要がある。
7. 本研究ではとりあげなかったが、輸送網への配分交通量の予測方法に関する研究を行なう必要がある。

都市交通計画の策定方法を確立するためには、本研究で取扱った輸送需要推計の方法論はもちろんのこと、交通施設計画の方法論およびその他都市交通に関連のあるすべての分野の研究を飛躍的に発展させ、それぞれの成果を総合し、体系化する必要がある。

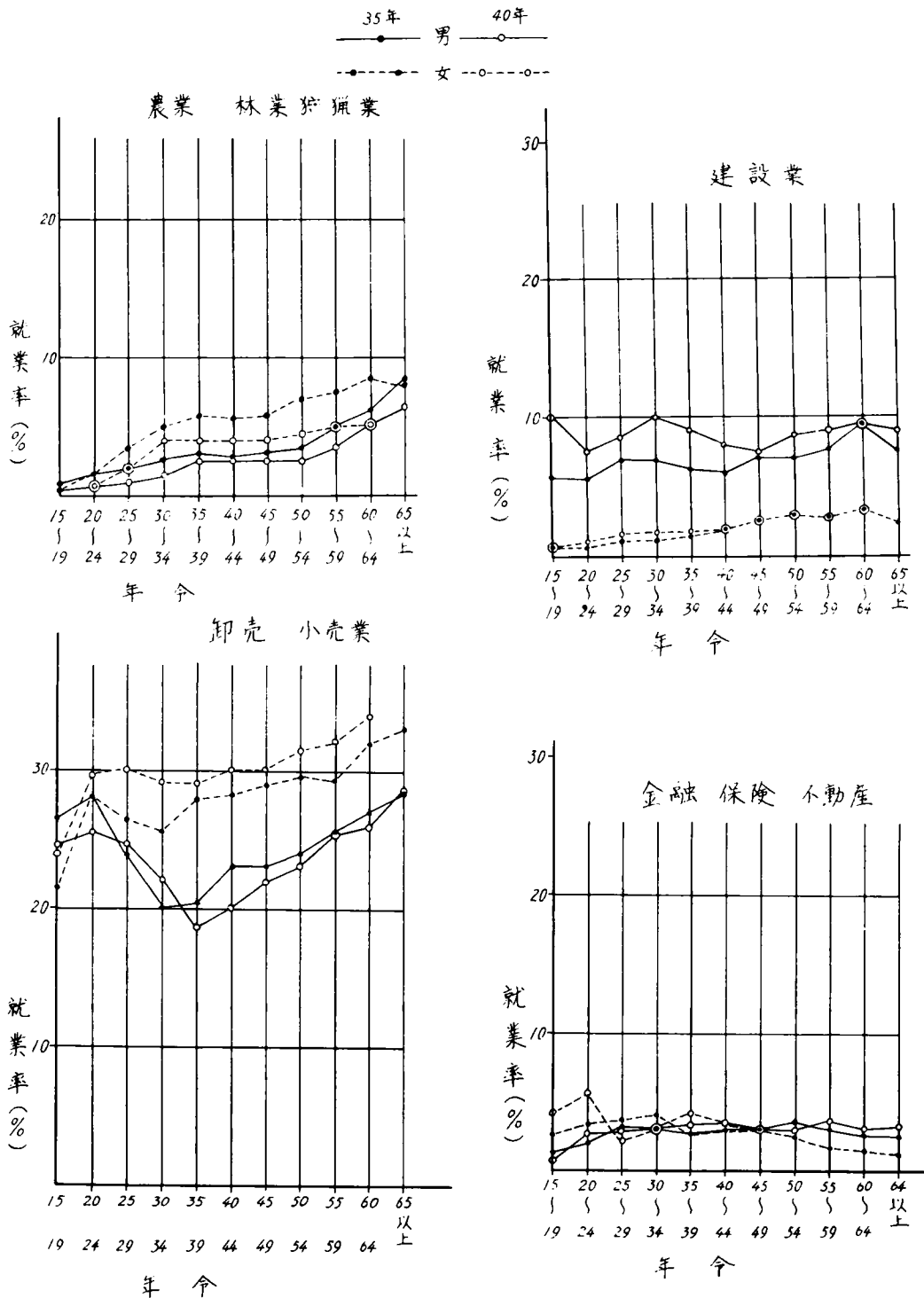
付図・付表

付 図 ・ 付 表

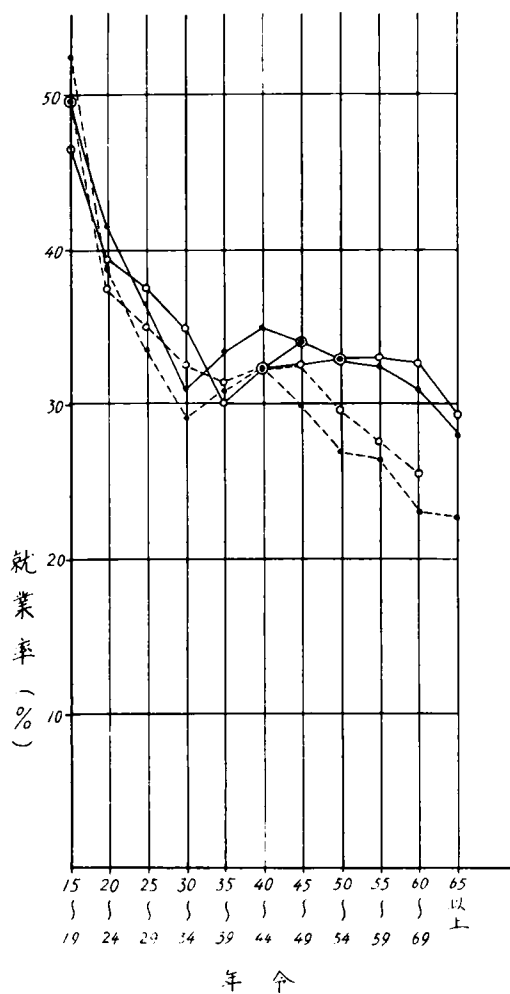
付表3-3-1 人口を単位とする発生・集中原単位(人/人)

人口	都市名	発生原単位	集中原単位	人口	都市名	発生原単位	集中原単位	人口	都市名	発生原単位	集中原単位
10 ～ 20 万人	長岡	0.529	0.569	10 ～ 20 万人	網生	0.535	0.579	10 ～ 20 万人	今治	0.515	0.566
	高松	0.517	0.579		川越	0.520	0.461		新高	0.439	0.465
	福井	0.534	0.637		浦口	0.505	0.492		松如	0.514	0.568
	甲府	0.493	0.573		大和	0.501	0.381		小松	0.452	0.477
	長野	0.529	0.615		宮川	0.500	0.377		畑世	0.475	0.534
	松本	0.554	0.627		市川	0.515	0.359		米留	0.489	0.597
	大垣	0.556	0.611		船橋	0.511	0.370		新見	0.458	0.463
	沼津	0.493	0.556		八王子	0.492	0.434		岐呂	0.480	0.574
	清水	0.498	0.544		武蔵野	0.537	0.381		静岡	0.461	0.494
	岡宮	0.546	0.515		平塚	0.489	0.445		浜松	0.481	0.547
10 ～ 20 万人	旭川	0.603	0.621	10 ～ 20 万人	藤沢	0.481	0.402	20 万人以上	名古屋	0.496	0.488
	旭川	0.481	0.523		小田原	0.494	0.379		札幌	0.477	0.492
	小樽	0.465	0.450		相模原	0.471	0.557		仙台	0.521	0.627
	札幌	0.431	0.474		大津	0.525	0.557		東京	0.518	0.573
	函館	0.435	0.453		岸和田	0.489	0.404		横浜	0.551	0.573
	仙台	0.459	0.535		和田中	0.480	0.261		川崎	0.445	0.476
	弘前	0.375	0.376		吹上	0.497	0.391		大阪	0.448	0.465
	八戸	0.510	0.533		守口	0.488	0.361		大津	0.477	0.521
	盛岡	0.470	0.497		八尾	0.470	0.340		神戸	0.503	0.540
	山形	0.498	0.539		明石	0.472	0.415		戸田	0.509	0.492
10 ～ 20 万人	徳島	0.530	0.577	10 ～ 20 万人	奈良	0.506	0.487		姫路	0.487	0.496
	山梨	0.509	0.581		津島	0.516	0.581		尼崎	0.496	0.496
	山梨	0.492	0.563		四日市	0.535	0.605		島田	0.506	0.503
	水戸	0.524	0.636		鳥取	0.510	0.573		広島	0.496	0.522
	日立	0.513	0.607		松江	0.534	0.600		福岡	0.500	0.487
	足利	0.532	0.587		金沢	0.540	0.563		八幡	0.521	0.629
	前橋	0.515	0.546		宇都	0.471	0.498		長崎	0.492	0.493
	高崎	0.503	0.577		徳島	0.502	0.575		熊本	0.472	0.496

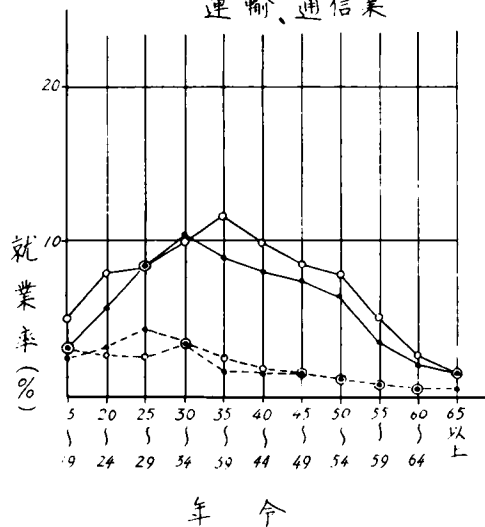
付図 3 - 3 - 1 京都市年令別就業率 (昭和 35. 40 年)



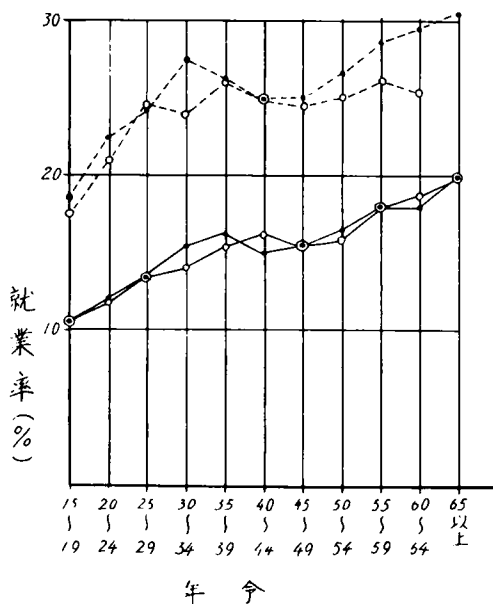
# 製造業



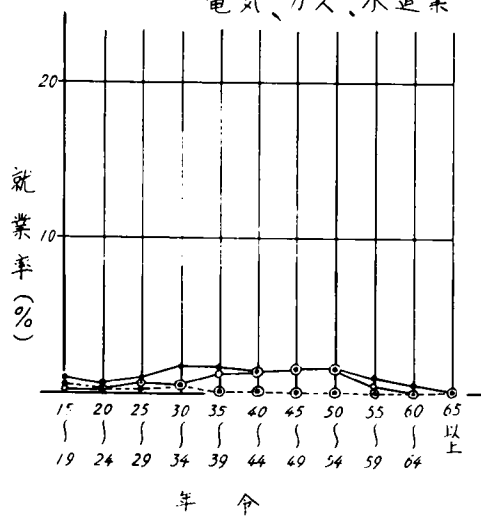
# 運輸、通信業

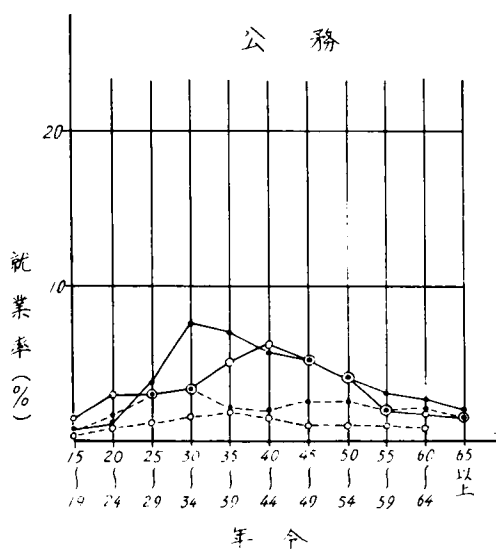


# サービス業



# 電気、ガス、水道業

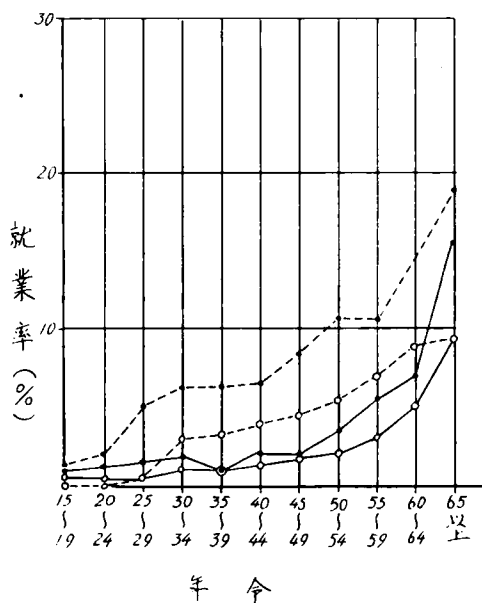




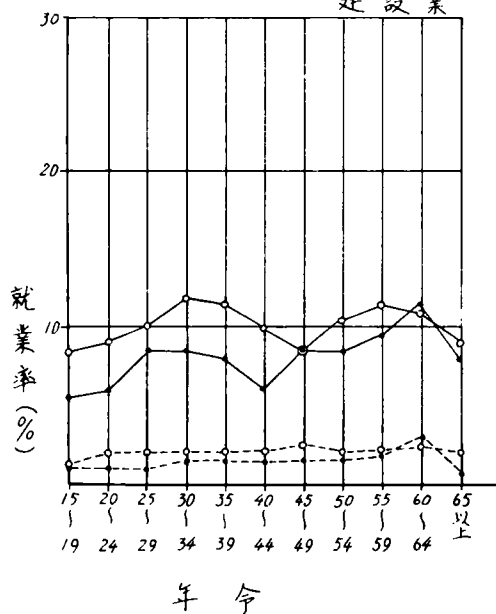
付図 3 - 3 - 2 名古屋市年令別就業率 (昭和 35. 40 年)

35年 男 —●— 40年 男 —○—  
 35年 女 -●- 40年 女 -○-

農業、林業、狩猟業、漁業、水産業、養殖業

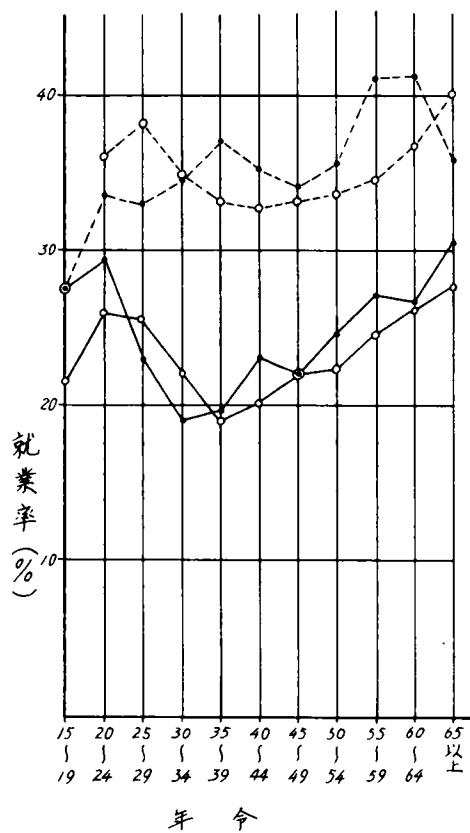


建設業

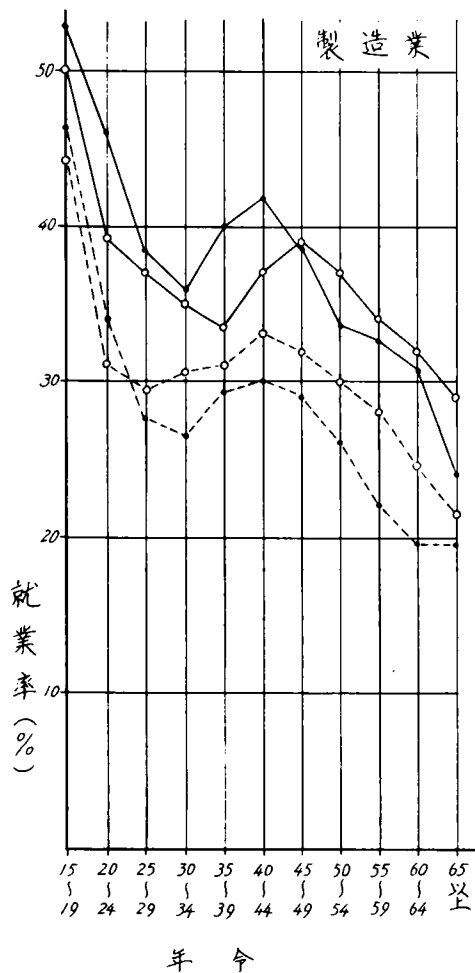




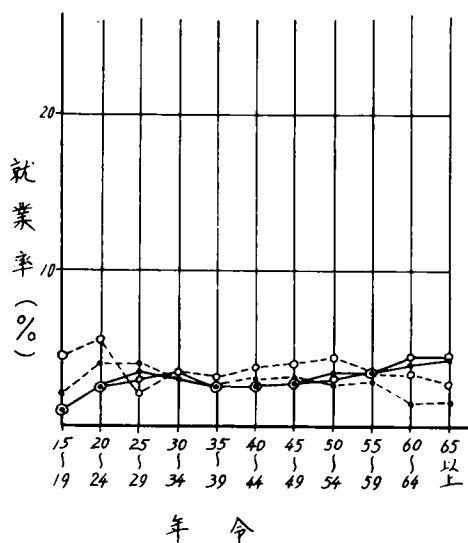
卸売、小売業



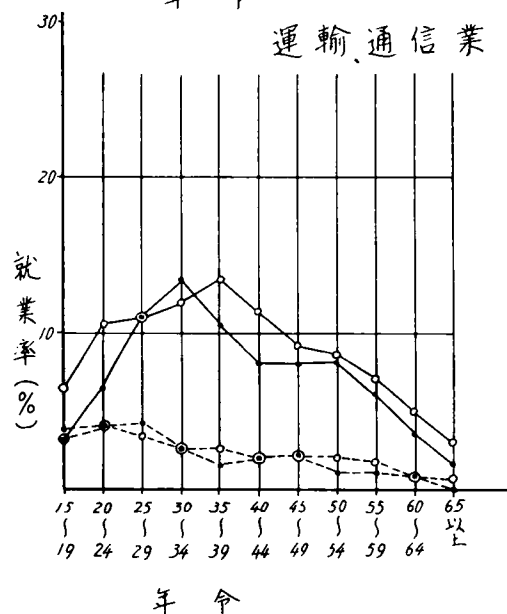
製造業

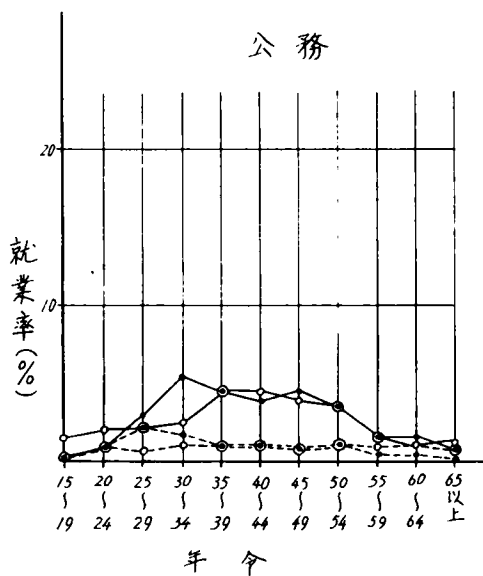
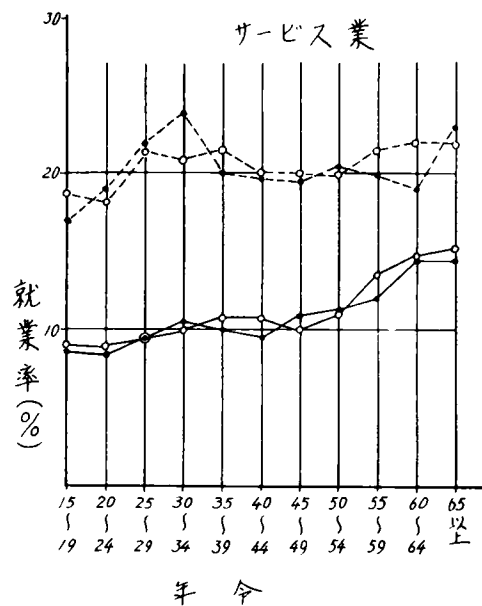
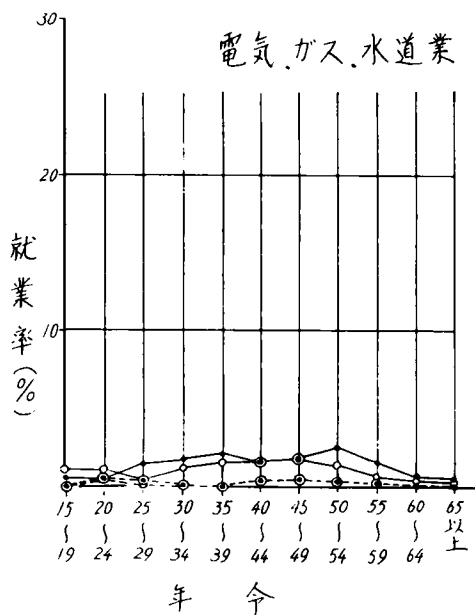


金融、保険、不動産

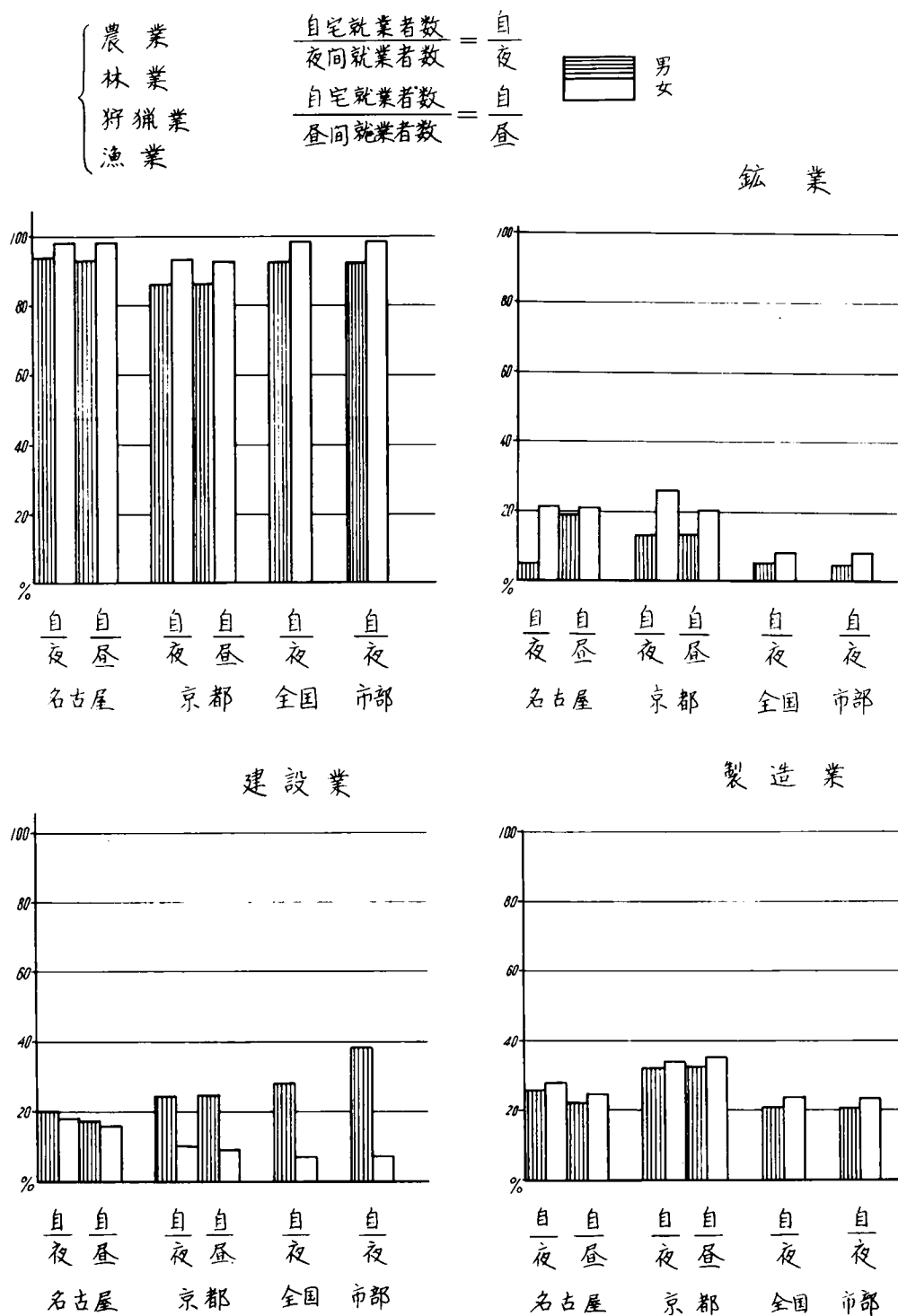


運輸、通信業

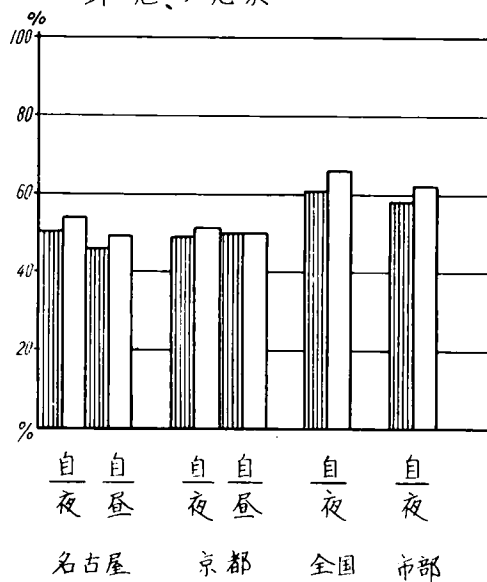




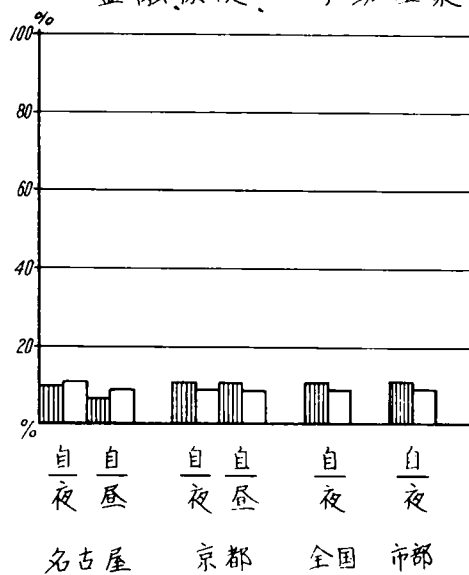
付図 3 - 3 - 3 自宅就業者率（昭和 35 年）



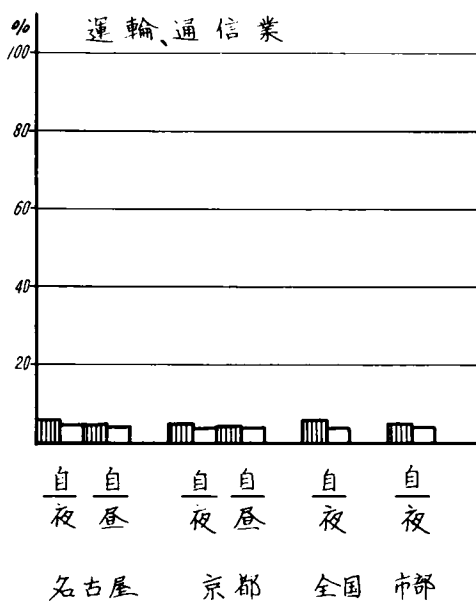
卸売、小売業



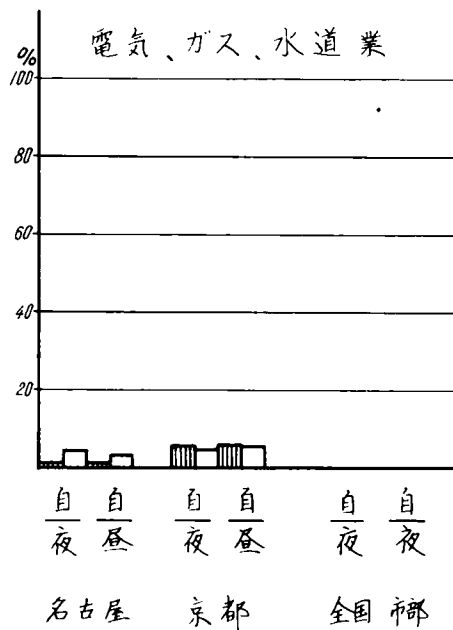
金融、保険、不動産業

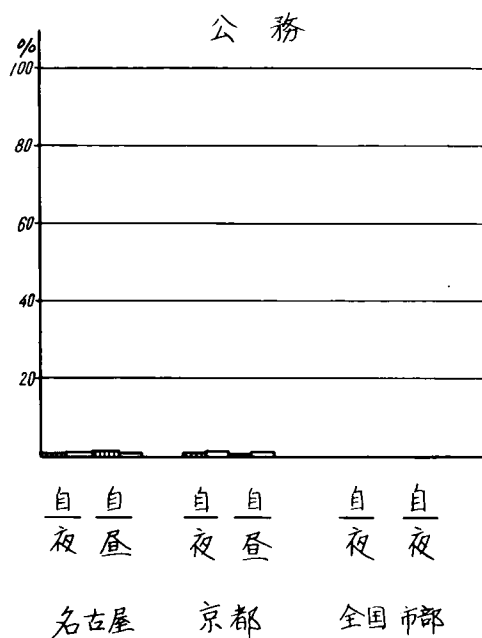
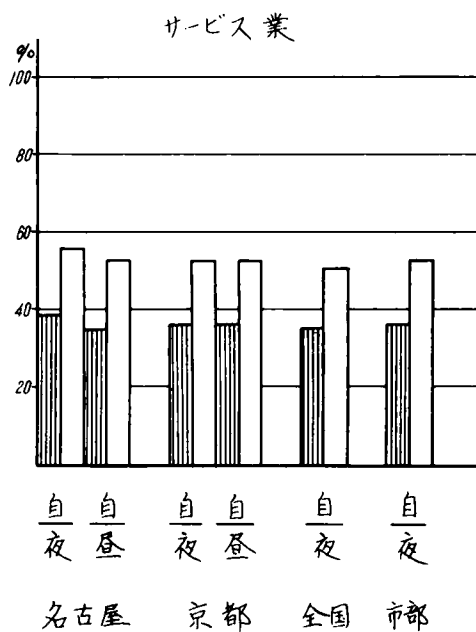


運輸、通信業

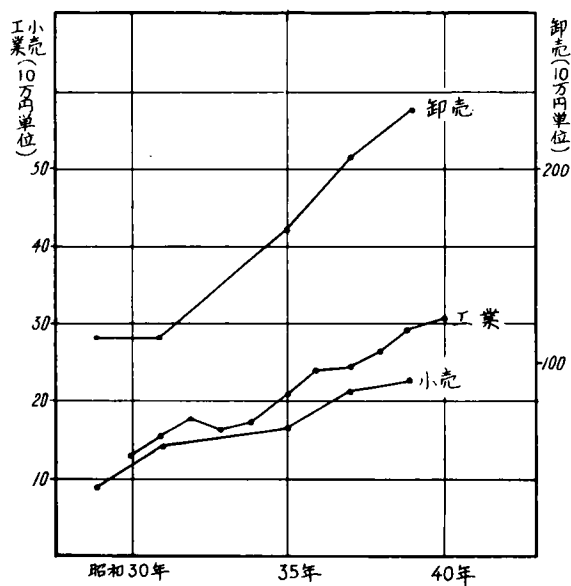


電気、ガス、水道業





付図 3 - 3 - 4



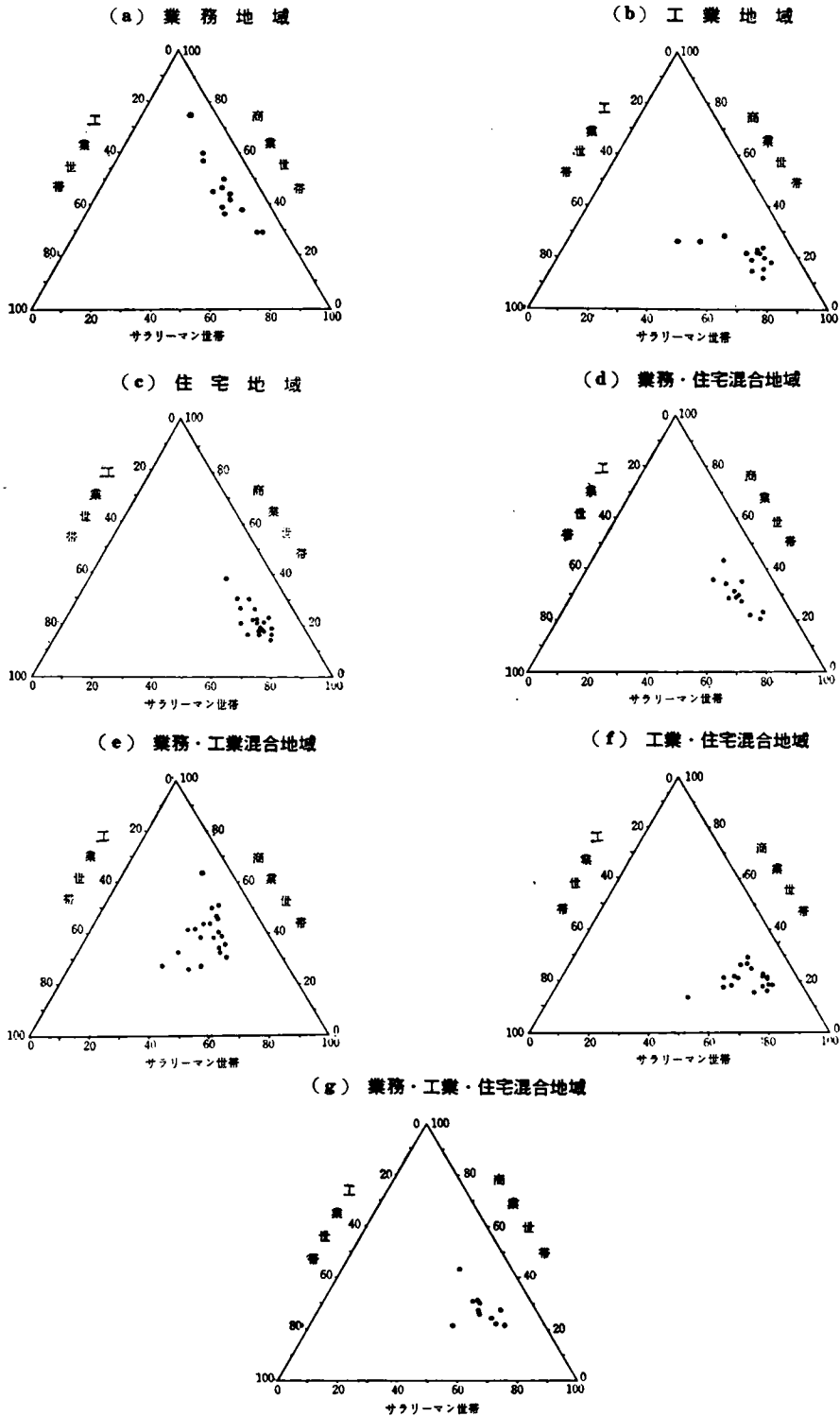
従業員一人あたり生産額または販売額  
(S. 40年価格)

附表 3 - 3 - 2

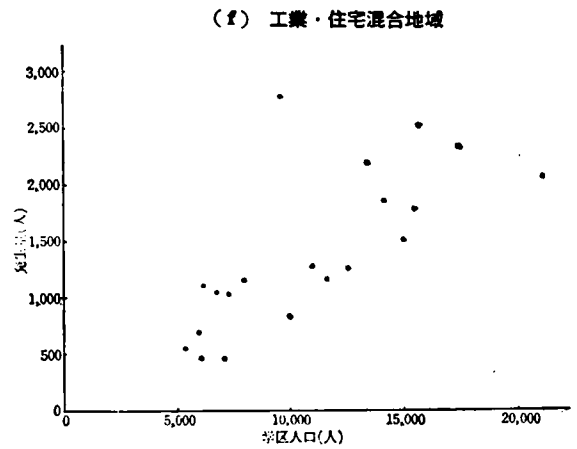
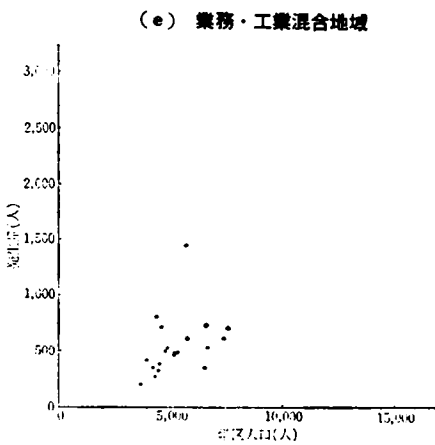
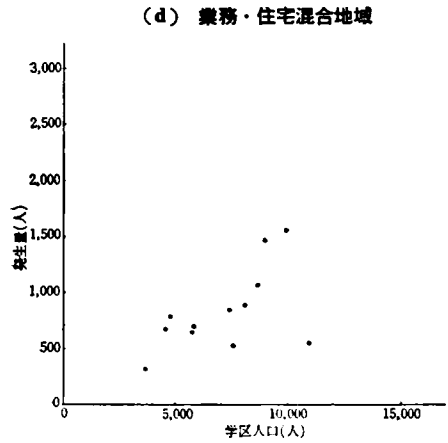
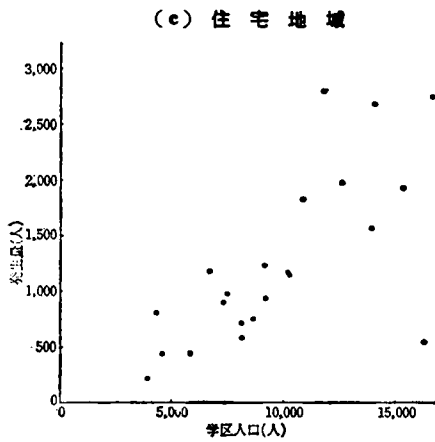
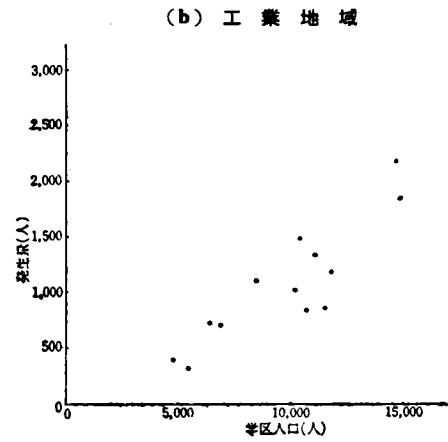
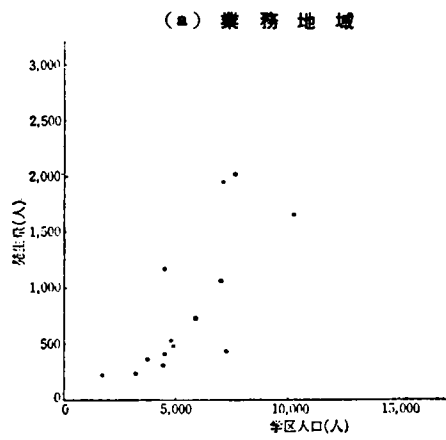
昭和35年名古屋市就学率

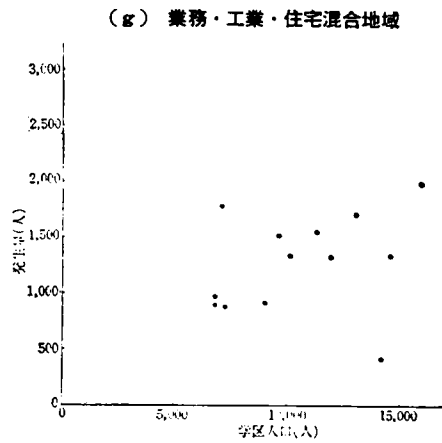
年 令	就 学 率 (%)	
	男	女
15～17才	46.7	52.3
18～19才	19.9	17.2
20～24才	8.3	2.7

付図 3 - 4 - 1

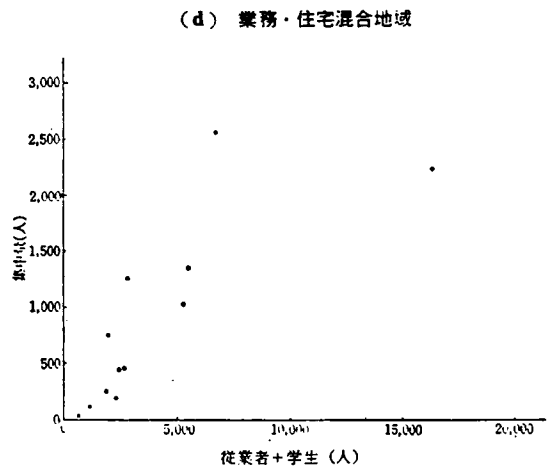
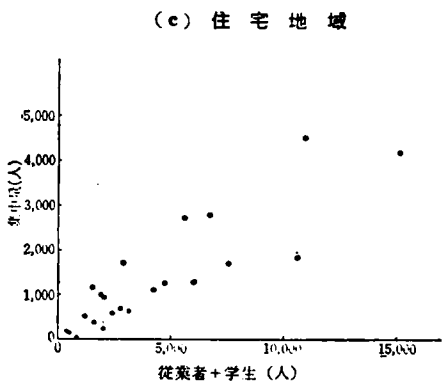
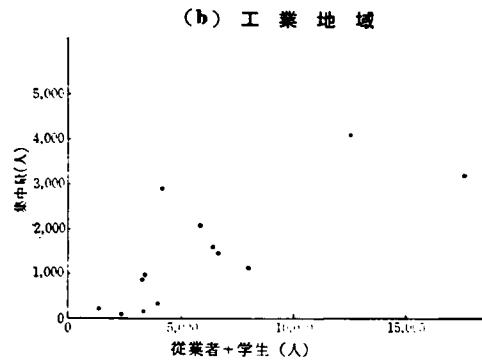
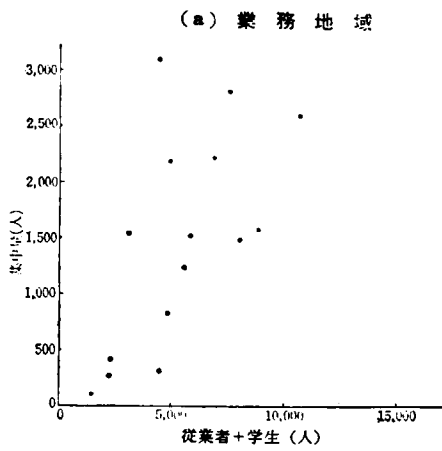


付図 3 - 4 - 2

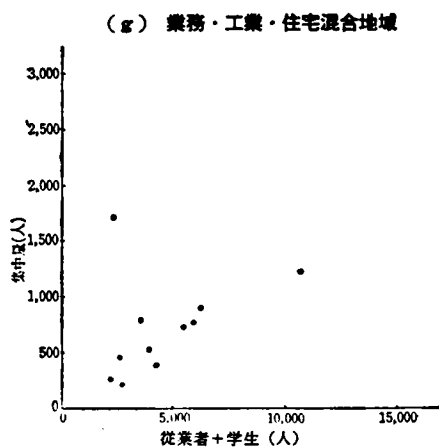
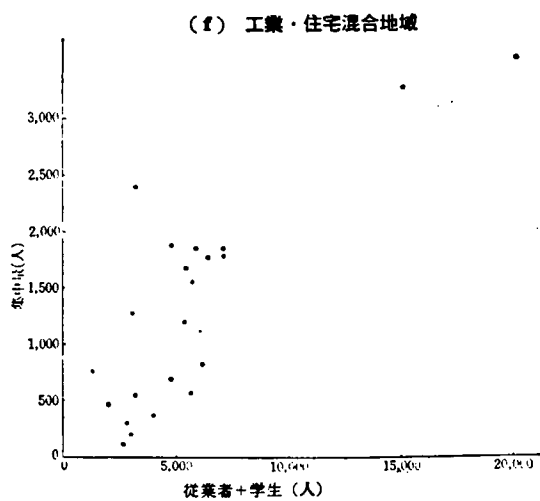
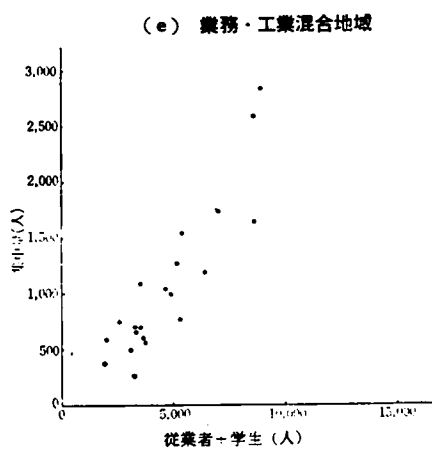




付図 3 - 4 - 3







付 表

付4-1

35年京都市通勤OD表

附表4-5-1

起 点	終 点	北 区	上 京 区	左 京 区	中 京 区	東 山 区	下 京 区	南 区	右 京 区	伏 見 区	計
北 北 区	北 北 区	8813	5768	1960	6223	846	3818	1004	2046	361	30839
上 京 区	上 京 区	1667	14022	1686	7198	846	3909	1018	1936	358	32540
左 京 区	左 京 区	1523	5149	19403	9519	2303	5501	1540	2144	644	47826
中 京 区	中 京 区	736	3369	1272	17919	1068	5910	1516	3549	339	35578
東 山 区	東 山 区	456	1635	1961	6570	17184	5970	2295	1281	1090	38442
下 京 区	下 京 区	393	1551	791	6090	1490	29609	2862	2218	610	45614
南 区	南 区	222	1056	563	3366	1082	5929	14382	1544	871	29015
右 京 区	右 京 区	976	2882	1569	8157	826	4886	1681	21963	317	43257
伏 見 区	伏 見 区	307	1366	966	4351	2048	4555	2920	841	22244	39598
計	計	15093	36798	30171	69393	27693	70187	29218	37522	26834	342909

付 4-2

35 年名古屋市通勤・通学 O D 表

付表 4-5-2

起 点 終 点	千種区	東 区	北 区	西 区	中村区	中 区	昭和区	瑞穂区	熱田区	中川区	港 区	南 区	守山区	緑 区	計
千種区	17840	7062	1418	1416	4947	17592	4094	1795	1222	823	1069	589	367	62	60296
東 区	2446	14743	2138	1145	1980	6953	1337	687	573	397	506	266	319	29	33519
北 区	2236	7548	24424	3634	2731	9923	1812	1055	913	645	599	378	525	44	56467
西 区	1474	2968	2205	28019	4121	7143	1119	547	1081	1024	639	355	117	36	50848
中村区	2654	3693	1001	5108	29228	11974	1939	1160	1946	3881	1479	681	110	59	64913
中 区	1841	2606	540	766	1788	15998	2033	946	1316	843	614	326	139	41	29797
昭和区	3839	3616	801	944	3135	13012	18630	3598	1984	1076	1363	1128	178	135	53439
瑞穂区	1996	2488	566	704	2119	8165	5028	18195	4250	1156	2356	2332	96	192	49643
熱田区	726	1132	281	578	1411	4013	1193	1494	14610	2783	3045	1020	40	56	32383
中川区	1012	1573	410	1241	4803	5617	1329	1037	3769	22165	3044	618	61	36	46715
港 区	460	756	236	484	1223	3014	874	882	3387	2740	24115	831	27	28	39057
南 区	1259	1613	472	774	2376	6224	2606	4799	5477	1418	9045	24842	64	505	61474
守山区	1253	5000	2028	541	1056	3584	602	301	265	161	271	113	5263	16	20400
緑 区	292	472	119	264	1075	1828	495	1296	1349	299	1100	1762	20	5716	16087
計	39329	55270	36639	45618	61993	115040	43091	37792	42142	39411	49191	35241	7326	6955	

附表4-5-3

35年大阪市通

起 点 終 点	北 区	都島区	福島区	此花区	東 区	西 区	港 区	大正区	天王子区	南 区	浪速区
北 区	42337	504	546	204	1719	497	136	100	309	551	143
都 島 区	5138	34011	772	461	3780	1148	205	260	649	1056	286
福 島 区	2555	265	36289	1102	1651	1329	899	611	269	585	279
此 花 区	2002	217	3759	23116	1178	1271	873	629	210	492	288
東 区	757	116	134	74	35255	358	74	56	579	587	6
西 区	1214	97	816	380	1496	32804	1142	797	322	851	362
港 区	1718	216	987	938	1315	3643	30920	2256	351	1101	912
大 正 区	939	110	652	391	996	1731	1351	33677	421	1005	847
天王子区	1493	183	231	140	2684	649	150	314	29169	1908	605
南 区	727	127	141	196	1553	369	75	150	1248	41621	357
浪 速 区	1127	111	330	168	1327	1087	386	857	905	2654	30775
大 淀 区	3934	679	930	304	972	486	177	153	195	361	157
西淀川区	3456	338	3606	1474	1677	944	380	495	279	683	268
東淀川区	13455	1758	3087	1779	6839	2948	780	897	1037	2757	834
東 成 区	1648	289	376	254	4142	773	203	261	1796	1509	435
生 野 区	2981	421	652	424	4417	1293	363	553	3979	2578	956
旭 区	6245	3066	1061	1065	6282	1607	360	326	914	1515	394
城 東 区	5941	3003	1205	956	6610	1649	465	449	1545	1725	537
阿 部 野 区	4640	384	814	421	7501	2432	495	822	2785	4482	2123
住 吉 区	5668	462	1092	726	8460	3602	913	3317	2475	6455	3574
東住吉区	5687	600	1100	800	8858	3158	815	1489	4092	4983	2593
八 成 区	3775	296	753	533	4030	2202	724	2564	1552	6259	3926
計	117437	47252	59333	35906	112742	65980	41886	51093	55081	85718	50736

勤・通学 O D 表

大淀区	西淀川区	東淀川区	東成区	生野区	旭 区	城東区	阿部野区	住吉区	東住吉区	西成区	計
846	226	924	131	120	285	318	216	116	69	79	50376
1345	302	986	432	303	2155	2133	225	147	136	162	56092
1043	1405	878	178	128	184	343	142	127	76	165	50503
394	1863	628	134	123	143	364	118	135	61	157	38155
81	55	115	286	179	154	222	179	83	58	64	39551
113	158	245	130	131	96	174	190	177	61	226	41982
224	415	423	223	210	142	270	173	302	91	405	47235
141	296	297	150	224	89	210	257	800	76	716	45376
158	108	228	964	1282	112	332	718	299	346	288	42361
58	36	124	232	174	49	128	291	176	115	107	48054
132	137	209	227	363	88	172	560	486	317	1343	43761
2176	368	1085	131	101	385	381	102	67	56	120	32320
720	37417	2349	170	136	196	399	140	129	67	210	55533
3798	3764	78975	701	592	1134	1376	536	372	263	620	128302
223	127	307	51912	2507	392	1729	399	246	276	279	70083
302	250	514	4495	82319	356	1422	1515	656	1874	702	113022
1248	472	1225	756	411	34493	3714	320	180	163	272	66149
869	600	1089	4080	1332	2182	67181	539	324	318	374	102973
363	303	564	902	1635	226	615	40738	2055	2166	2323	78789
465	432	792	911	1339	272	780	4284	49494	1806	6445	103764
523	424	704	1646	4618	362	1119	5737	2323	62817	2618	117066
390	407	669	612	969	198	620	2893	3357	1185	66995	104908
34612	49565	93330	69403	99196	43695	84002	60272	62051	72397	84670	1476355

付4-4

附表4-5-4

京都市平均通

北 区	上京区	左京区	中京区	東山区
16	24	39	33	50
	9	28	15	35
		16	30	37
			9	28
				13

付4-5

附表4-5-5

名古屋市平均通

千種区	東区	北区	西区	中村区	中区	昭和区	瑞穂区
11	23	39	50	46	29	20	34
	8	19	31	36	20	34	44
		11	20	41	30	45	57
			10	24	31	54	68
				11	23	49	45
					10	24	38
						9	12
							9

勤時間  $r_{ij}$  (分)

下京区	南 区	右京区	伏見区	
40	55	45	66	北 区
21	32	33	44	上京区
39	48	44	56	左京区
17	27	25	38	中京区
30	34	50	33	東山区
9	24	33	38	下京区
	13	33	36	南 区
		16	66	右京区
			12	伏見区

勤時間  $r_{ij}$  (分)

熱田区	中川区	港 区	南 区	守山区	緑 区	
65	64	81	64	41	91	千 種 区
56	56	73	66	40	92	東 区
65	60	83	76	41	103	北 区
54	43	70	86	58	112	西 区
46	20	58	73	77	99	中 村 区
31	36	56	55	59	81	中 区
41	45	61	41	52	68	昭 和 区
33	45	54	29	64	56	瑞 穂 区
10	28	22	31	91	57	熱 田 区
	13	36	57	95	84	中 川 区
		13	35	116	62	港 区
			15	93	26	南 区
				11	120	守 山 区
					13	緑 区



大阪市平均通

表 4-5-6

北 区	都島区	福島区	此花区	東 区	西 区	港 区	大正区	天王子区	南 区	浪速区
5	22	30	50	28	37	44	84	35	43	38
	4	42	60	31	48	64	92	47	54	62
		4	25	39	29	32	45	54	59	52
			5	59	42	35	53	75	102	73
				5	29	43	66	22	26	35
					4	19	33	36	39	31
						4	31	53	59	37
							5	48	66	36
								4	20	26
									4	25
										4

勤時間  $r_{ij}$  (分)

大淀区	西淀川区	東淀川区	東成区	生野区	旭区	城東区	阿部野区	住吉区	東住吉区	西成区	
17	52	30	52	57	28	34	34	48	68	34	北区
23	75	51	57	79	19	27	62	83	107	82	都島区
24	28	44	76	87	53	54	56	74	82	75	福島区
46	32	59	93	110	70	75	79	90	114	85	此花区
40	75	54	26	38	23	29	23	39	52	26	東区
42	62	56	57	64	51	58	39	44	75	42	西区
59	62	77	83	81	69	71	56	59	90	51	港区
73	78	97	100	87	94	92	59	41	94	47	大正区
52	94	79	24	26	50	47	25	41	43	39	天王寺区
58	100	89	41	52	50	62	24	34	58	30	南区
64	89	76	61	51	67	73	25	31	45	22	浪速区
3	46	30	68	43	32	44	57	74	90	63	大淀区
	6	39	122	148	86	59	98	119	115	110	西淀川区
		9	91	121	58	73	87	114	135	97	東淀川区
			4	27	52	30	46	71	69	67	東成区
				6	75	56	38	63	43	64	生野区
					4	27	71	98	111	91	旭区
						6	54	91	90	84	城東区
							4	25	30	23	阿部野区
								7	47	26	住吉区
									9	47	東住吉区
										5	西成区

京都市通勤交通量予測値（昭和40年）

付表4-5-7

起 点	終 点	北 区	上 京 区	左 京 区	中 京 区	東 上 区	下 京 区	南 区	右 京 区	伏 見 区	計
北 区		10361	5938	2235	6216	831	3852	1552	2348	468	33801
		10679	6032	2109	6247	854	3839	1338	2271	436	33804
		9068	5605	2671	5255	1361	4094	1753	3097	898	33805
		9147	5353	2715	5204	1366	4106	1803	3203	906	33803
上 京 区		10697	6430	2156	5638	989	3784	1212	2346	548	33801
		9836	5851	2266	6403	1045	4269	1527	2334	272	33803
		1996	14534	1711	6672	816	3399	1447	2434	492	33501
		1969	14256	1765	7021	830	3818	1324	2095	423	33502
左 京 区		1643	11183	1968	7937	972	4894	1864	2316	730	33507
		1585	11740	1813	8026	956	4863	1769	2058	693	33503
		1805	13614	1647	7736	645	4315	1653	1871	215	33501
		1946	12881	1997	7087	1084	4342	1585	2221	358	33501
中 京 区		1952	5411	20698	9116	2267	5293	2041	2311	906	49995
		1818	5294	20540	9391	2286	5534	2023	2345	768	49997
		2259	5433	17308	8021	3011	5484	2861	4080	1541	49997
		2269	5117	17585	7855	3006	5451	2932	4231	1551	49998
東 山 区		1759	5420	20924	8441	2422	4874	2094	3119	941	49995
		1929	5406	18581	9632	2558	6315	2389	2542	643	49995
		863	2755	1259	17445	880	4709	1897	3501	546	33855
		817	3208	1248	16354	982	5400	1856	3610	377	33853
東 山 区		718	3368	1372	15764	1142	5654	2016	3078	749	33862
		699	3639	1262	16145	1136	5654	1907	2701	715	33858
		773	2919	1192	17475	847	5280	2130	3083	156	33855
		948	3321	1559	15087	1231	5695	2033	3654	328	33856
東 山 区		585	1939	2318	6970	18611	6075	3180	1771	1476	42925
		590	1829	2258	7060	18563	6426	3265	1520	1408	42919
		1034	2509	2731	6435	14643	6317	3911	2398	2942	42920
		1035	2445	2725	6408	14667	6336	3963	2407	2936	42922
東 山 区		719	2151	2141	6564	18341	6010	3304	1658	2037	42925
		801	2251	2515	7279	17047	6764	3313	1686	1269	42925

下京区	441	1,352	817	4918	1,321	29161	3265	2559	782	44616
	451	1,529	803	5756	1418	28017	3619	2332	700	44624
	694	2,582	1,151	6855	1390	25044	3403	2483	1,025	44627
	683	2,732	1,065	7,005	1,391	25181	3288	2,259	994	44618
南 区	648	1,719	848	5,170	934	29343	3640	2,122	192	44616
	744	2,132	1,388	6,403	1,778	25190	3706	2,585	686	44616
	311	930	631	3,107	991	4942	17,072	1,986	1,134	31,104
	244	999	549	3,056	988	5391	17,396	1,552	954	31,130
右京区	503	1,654	998	3,933	1,451	5485	13,358	2,263	1,460	31,106
	504	1,669	980	3,968	1,462	5524	13,348	2,198	1,450	31,103
	331	1,283	642	3,471	1,037	5054	16,891	1,643	751	31,104
	315	1,188	718	3,355	1,088	5637	16,579	1,512	712	31,104
伏見区	1,393	3,805	1,443	10,477	1,034	7269	3300	28,151	627	57,499
	1,445	3,716	2,079	10,121	1,028	6076	2726	29,813	466	57,470
	1,656	3,827	2,592	10,690	1,653	7117	4002	24,889	1,086	57,512
	1,652	3,583	2,610	10,374	1,638	7001	4056	25,506	1,086	57,506
計	1,191	3,143	1,857	10,876	1,063	6184	3123	29,537	524	57,499
	1,510	3,631	2,307	9,916	1,215	6406	2,795	29,518	0	57,498
	545	1,872	1,454	5,203	2,610	5185	4,320	1,535	30,149	52,873
	432	1,672	1,215	5,123	2,419	5375	4,499	1,083	31,052	52,870
計	871	2,370	1,774	5,221	3,744	5784	4,906	1,981	26,183	52,834
	874	2,257	1,790	5,140	3,739	5767	5,008	2,032	26,249	52,856
	523	1,857	1,158	4,751	3,083	5041	4,026	1,218	31,216	52,873
	418	1,675	1,235	4,964	2,314	5267	4,148	540	32,312	52,873
計	18,447	38,536	32,566	70,124	29,361	69,885	38,074	46,596	36,580	
	18,445	38,535	32,565	70,129	29,367	69,875	38,046	46,623	36,584	
	18,445	38,531	32,566	70,115	29,367	69,873	38,074	46,586	36,613	
	18,448	38,535	32,565	70,125	29,361	69,883	38,074	46,595	36,580	
計	18,447	38,536	32,566	70,124	29,361	69,885	38,074	46,596	36,580	
	18,447	38,536	32,566	70,126	29,360	69,885	38,075	46,596	36,580	

記入順序 昭和40年実績値 現在パターン法（平均成長率法）・重力モデル法・エントロピー法・連立方程式法（モデル2）

トリップ ポテンシャル モデル。

付表4-5-8-1

## 名古屋市通勤・通学交通量

起 点 \ 終 点	千種区	東 区	北 区	西 区	中村区	中 区	昭和区
千 種 区	26744	8248	1811	1632	6985	20649	5053
	26422	8493	1712	1661	6675	21578	5281
	32182	9591	2442	1887	3537	14213	7209
	32194	9481	2430	1884	3557	14551	7015
	28303	8563	1787	1671	5713	20054	5629
	21601	8098	2383	2628	7122	20168	5365
東 区	3099	22118	2306	1208	2152	6874	1727
	3714	18164	2645	1376	2738	8738	1767
	2601	19972	2993	1513	1835	10364	813
	2628	20377	3108	1535	1783	9803	875
	3436	18835	2727	1403	2447	9008	1545
	3534	14329	2608	1850	3242	8551	2118
北 区	3466	8088	30465	4604	3926	12419	2480
	3397	9300	30214	4366	3778	12473	2395
	2739	12769	23010	9429	3835	12300	1526
	2740	12646	22942	9421	3848	12540	1493
	3216	10022	29033	5257	3739	12463	2214
	3873	8425	23135	4618	4858	12706	3155
西 区	2219	3439	3069	33403	5242	8877	1486
	2239	3652	2724	33619	5697	8969	1478
	1413	4189	6259	25958	9008	9567	876
	1414	4158	6270	25970	8993	9640	867
	1944	3712	3349	32423	6425	8984	1336
	2899	4131	2997	25364	6017	9728	2366
中 村 区	3712	3626	1197	5213	43648	13069	2217
	3927	4431	1206	5977	39377	14656	2496
	1790	3279	1718	6037	37135	18042	1127
	1793	3242	1720	6039	37107	18161	1112
	3246	4244	1289	6059	38893	15442	2189
	4399	5038	2089	6007	31943	14809	3346
中 区	2172	2504	471	872	1890	28672	2009
	3138	3633	756	1042	2784	22719	3033
	1233	2985	912	1083	3203	28789	1197
	1311	3186	1002	1157	3245	28001	1372
	2527	3433	791	1037	2998	24590	2444
	3117	3613	1211	1593	3266	18943	3024
昭 和 区	6248	4338	1020	1122	3689	14546	24119
	5562	4241	943	1079	4132	15571	23455
	6505	2905	1209	1068	2086	14465	21026
	6461	2908	1219	1064	2031	14025	21511
	5755	4038	974	1079	3546	15292	23191
	5347	4599	1693	2056	4915	14845	18518

記入順序 昭和40年実績値・現在パターン法(平均成長率法)・重力モデル法・エントロピ

予測値（昭和40年）

瑞穂区	熱田区	中川区	港区	南区	守山区	緑区	計
2377	1,322	983	1,194	809	1,166	177	79,150
2235	1,329	904	1,288	770	753	68	79,169
2371	1,113	1,221	1,279	1,058	921	135	79,159
2325	1,112	1,224	1,262	1,043	931	141	79,150
2225	1,324	972	1,282	735	826	64	79,148
2877	2,197	1,740	2,411	1,651	812	97	79,150
780	576	374	402	320	778	60	42,774
876	638	447	625	357	672	33	42,787
444	474	521	565	341	313	40	42,789
484	476	514	502	322	331	45	42,783
786	627	473	615	312	534	27	42,775
1,366	1,197	985	1,351	930	645	68	42,774
1,199	1,076	845	735	502	1,458	124	71,387
1,345	1,017	726	740	507	1,107	50	71,414
844	998	1,251	1,105	691	825	96	71,417
832	997	1,252	1,084	679	835	100	71,409
1,247	1,023	828	805	509	979	53	71,388
2,218	1,988	1,655	2,058	1,515	1,068	115	71,387
784	1,265	1,226	690	536	609	124	62,969
697	1,202	1,151	788	476	247	41	62,980
502	1,158	1,886	1,286	464	366	68	63,000
501	1,156	1,884	1,243	453	373	71	62,992
654	1,203	1,290	866	436	306	41	62,969
1,645	2,013	1,895	1,973	1,400	433	108	62,969
1,326	1,780	3,955	1,615	844	432	195	82,829
1,441	2,110	4,253	1,779	889	226	65	82,835
1,124	1,679	8,040	1,904	662	234	90	82,859
1,119	1,677	8,045	1,852	652	240	95	82,854
1,381	2,122	5,048	1,839	777	240	59	82,828
2,374	2,004	4,577	2,940	1,853	441	110	82,830
980	1,168	860	525	405	309	88	42,925
1,363	1,663	1,075	856	492	325	52	42,931
421	1,035	891	685	352	111	36	42,936
489	1,092	923	632	351	126	44	42,931
1,072	1,496	1,040	824	379	262	33	42,926
1,709	1,953	1,473	1,518	1,025	396	85	42,926
4,176	2,159	1,104	1,413	1,463	444	304	66,145
4,369	2,102	1,152	1,603	1,441	359	146	66,153
9,930	1,709	1,584	1,525	1,583	395	145	66,135
10,239	1,691	1,551	1,390	1,487	402	153	66,132
5,458	2,136	1,259	1,594	1,318	370	134	66,144
4,308	2,678	1,865	2,547	2,086	496	191	66,144

一法・連立方程式法（モデル1）・トリップ ポテンシャル モデル。

付表4-5-8-2

名古屋市通勤・通学交通

起 点 \ 終 点	千 種 区	東 区	北 区	西 区	中 村 区	中 区	昭 和 区
瑞 穂 区	3124	2915	686	777	2545	9013	6256
	2835	2854	652	787	2736	9562	6186
	2734	2037	858	783	2647	6463	12820
	2717	2038	862	780	2593	6345	12987
	2640	2734	668	786	2560	8996	7425
	3208	3431	1405	1746	3714	9949	5637
熱 田 区	915	1163	325	744	1494	4303	1538
	1100	1385	345	689	1942	5012	1567
	538	833	423	745	1639	6012	874
	548	847	436	760	1641	5978	906
	898	1272	352	689	1797	5102	1420
	1590	1927	910	1319	2579	5567	1908
中 川 区	1797	1970	664	2078	6233	7897	1996
	1740	2206	577	1698	7535	8028	1996
	1086	1677	994	2233	14037	8847	1552
	1080	1638	980	2215	14086	9048	1486
	1512	1976	648	1728	9980	8043	1880
	2516	3048	1452	2500	7189	8873	2690
港 区	809	998	236	719	1591	3540	1254
	752	1006	315	628	1824	4090	1247
	675	993	520	889	1939	3632	847
	668	958	508	876	1944	3713	798
	750	979	353	663	1865	3939	1160
	1538	1877	1032	1465	2788	5414	1892
南 区	1954	2103	543	1148	2935	7706	3742
	1941	2020	593	945	3338	7950	3500
	2306	2650	1366	1343	2763	7974	3890
	2265	2525	1308	1311	2809	8468	3505
	2098	2114	727	997	3149	8002	3718
	2865	3159	1598	2165	4608	9496	4016
守 山 区	2173	5829	2377	824	1616	5385	948
	1871	6095	2482	644	1440	4452	786
	2634	3447	2131	1412	1316	3713	1312
	2634	3382	2094	1407	1348	3943	1233
	2141	5612	2403	758	1383	4314	941
	1910	5569	2380	895	1715	4633	1003
緑 区	839	988	223	628	2141	4117	1301
	618	826	209	451	2087	3252	924
	832	980	539	565	1077	2059	1071
	819	940	517	553	1100	2850	966
	803	792	293	424	1592	2838	1036
	874	1084	501	766	2130	3386	1090
計	59271	68327	45393	54972	86087	147067	56127
	59256	68306	45373	54963	86083	147049	56121
	59267	68306	45373	54945	86057	147042	56140
	59272	68326	45396	54972	86085	147066	56126
	59269	68326	45394	54974	86087	147067	56128
	59271	68328	45394	54972	86086	147068	56128

量予測値（昭和40年）

瑞穂区	熱田区	中川区	港 区	南 区	守山区	緑 区	計
22732	3684	1202	2443	2777	317	402	58878
21617	4400	1211	2712	2919	190	203	58875
20099	2848	1736	2031	3273	296	231	58858
20508	2823	1705	1875	3086	300	241	58860
21557	4463	1323	2604	2716	205	200	58877
16612	4308	1841	3302	3117	360	249	58879
1458	18534	2827	3666	1220	105	151	38443
1893	16140	3111	3738	1361	84	63	38432
1139	14971	2577	6552	1891	97	139	38430
1192	15200	2599	6217	1854	102	153	38433
1757	16300	3143	4178	1378	86	72	38444
2018	12106	2961	3591	1635	225	107	38443
1629	4888	29079	4231	1076	219	162	63919
1504	4788	28424	4273	940	144	46	63899
1334	4682	21094	4932	1140	180	140	63927
1288	4651	21092	4909	1130	181	146	63930
1451	4489	25715	4329	930	182	58	63921
2181	4519	22264	4497	1722	358	110	63919
1196	3793	3135	33397	1112	56	124	51960
1214	4080	3333	32145	1202	61	34	51931
892	6744	2946	28879	2633	119	229	51934
849	6669	2942	29030	2629	119	239	51942
1147	4387	3309	31652	1586	99	71	51960
1738	3829	3321	25071	1681	237	76	51959
6307	5726	1631	10675	34753	142	905	80271
6220	6204	1623	11350	33838	137	581	80241
6319	8292	2772	10241	27362	397	2547	80223
5736	8160	2779	10790	27659	387	2537	80239
6404	6485	1858	11204	32264	255	995	80270
5810	5946	2387	10345	26888	370	618	80271
504	231	288	252	189	9073	41	29830
380	293	179	265	149	10796	18	29850
767	586	573	616	501	10743	80	29832
726	586	580	637	504	10675	81	29830
471	325	240	323	218	10674	28	29831
624	547	397	566	382	9209	0	29830
2036	1797	542	2807	2636	62	7630	27747
2341	2149	479	1920	3320	57	9095	27729
1321	1831	955	2476	6728	173	6520	27727
1200	1808	961	2621	6792	167	6440	27734
1881	1719	556	1930	5083	150	8650	27747
2010	1911	689	1875	2758	119	8553	27746
47489	48099	48051	64045	48642	15170	10487	799227
47494	48115	48069	64081	48663	15157	10497	
47508	48118	48047	64078	48679	15170	10497	
47488	48098	48051	64044	48651	15169	10486	
47491	48099	48054	64045	48641	15168	10485	
47490	48096	48050	64045	48643	15169	10487	



付 4 - 1 0

附表 4 - 5 - 1 0

	伸び率平均値	発 生 量 伸び率分散	集 中 量 伸び率分散
京 都 市	1.1 1	0.01	0.10
名 古 屋 市	1.30	0.10	0.21
大 阪 市	1.36	0.05	0.08

付表4-5-9 大阪市通勤・通学交通量予測値(昭和40年)

[illegible]

品名	昭和40年度 地方自治体 財政収支 表										計
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
市	2,771	4,23	1,463	6,464	1,267	2,77	2,77	2,77	2,77	2,77	1,253
	40.4	7.8	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
町	3,426	7.8	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
村	1,117	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
支庁	1,117	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
国	1,117	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
計	1,117	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
市	1,117	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
町	1,117	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
村	1,117	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
支庁	1,117	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
国	1,117	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
計	1,117	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0

昭和40年度 歳入  
 現在法(ローテーション法)  
 重税モデル法  
 エントロピー法  
 通立方程式法(モデル2)  
 トリノフ・サナシナル モデル